

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

П. И. Попов

ОБЩЕДОСТУПНАЯ ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ



АН09

П. И. ПОПОВ

ОБЩЕДОСТУПНАЯ ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1953

ОГЛАВЛЕНИЕ

Из предисловия ко второму изданию	5
Предисловие к третьему изданию	6
Введение	7
Глава I. Приближённые способы ориентировки	14
§ 1. Ориентировка по Солнцу	16
§ 2. Ориентировка по Луне	23
§ 3. Ориентировка по звёздам	29
Глава II. Небесные координаты и звёздные карты	45
§ 4. Горизонтальная система небесных координат	45
§ 5. Географические координаты	47
§ 6. Экваториальная система небесных координат	51
Глава III. Измерение времени и проверка часов	58
§ 7. Звёздное время	58
§ 8. Солнечное время	61
§ 9. Местное и всемирное время. Поясное и декретное время	71
§ 10. Приближённые способы определения времени	77
§ 11. Часы и хронометры, их проверка. Служба времени	82
§ 12. Летосчисление и календарь	88
Глава IV. Определение географической широты и дол- готы. Линия перемены даты	93
§ 13. Измерение широты	94
§ 14. Измерение долготы	99
§ 15. Линия перемены даты	101
Глава V. Изменение вида неба в течение года. Подвиж- ная карта звёздного неба. Астрономические календари (ежегодники)	103
§ 16. Изменение вида неба в течение года	103
§ 17. Подвижная карта звёздного неба	111
§ 18. Положение Луны и планет в разное время	115
§ 19. Астрономические календари и ежегодники	118

Глава VI. Некоторые измерительные астрономические инструменты. Исправление измеренных высот	120
§ 20. Универсальный инструмент	120
§ 21. Секстан	125
§ 22. Исправление измеренных величин. Влияние понижения горизонта	130
§ 23. Рефракция	132
Глава VII. Понятие об астрономической ориентировке, применяемой в мореплавании и авиации	137
§ 24. Определение местоположения по двум звёздам . . .	139
§ 25. Определение местоположения по Солнцу	143
Заключение	145
Литература	146
Приложения.	
I. Греческий алфавит	149
II. Планеты (видимые простым глазом)	149
III. Список созвездий	150
IV. Список ярких звёзд с их экваториальными координатами	152
V. Таблица широт и долгот (к востоку от Гринича) главных городов СССР	154
VI. Перевод единиц среднего времени в единицы звёздного	156
VII. Перевод единиц звёздного времени в единицы среднего	157
VIII. Соотношение между двумя системами измерений прямых восхождений	158
IX. Продолжительность гражданских сумерек	159
X. Натуральные тригонометрические функции	160
XI. Экваториальные координаты Солнца, звёздное время и уравнение времени	161
XII. Видимость планет в ближайшие годы	162
XIII. Формулы перехода от горизонтальных координат h , A к экваториальным α , δ и обратно	166
XIV. Стереографическая сетка Г. В. Вульфа	167
XV. Карта магнитных склонений СССР	168
XVI. Подвижная карта звёздного неба	168
XVII. Полярные звёздные часы	168
XVIII. Схема и пример записи наблюдений при определении поправки часов с помощью солнечного кольца	169
XIX. Определение географической широты места по высоте Полярной звезды	169
XX. Определение широты места с помощью солнечного кольца	170
XXI. Устройство упрощенного высотомера	171

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

При подготовке книги для первого её издания ставились задачи дать знакомство с простейшими способами астрономической ориентировки, а для их понимания — и с небесными явлениями, которые связаны с этими способами.

Опыт показал, что книга получила более широкое применение, чем предполагалось тогда. Небывалые темпы и размах социалистического строительства в нашей великой стране, не только восстановившей довоенный уровень производства во всех его областях, но и далеко продвинувшей вперёд многие из этих областей, — этот размах вызвал и новые потребности во всех видах знания, применений науки, в частности астрономии.

Широкое распространение всевозможных экспедиций для изучения природы и истории нашей необъятной родины, для использования её естественных богатств, организация экскурсий и пр. — всё это требует знакомства со способами ориентировки, с картой, способами определения времени, и не только самыми примитивными, но и более точными, которые могли бы придать результатам, полученным в экспедициях, определённое научное значение. В иных случаях, если даже и не приходится непосредственно проводить работу по определению времени, координат места, измерению силы тяжести и пр., то надо иметь ясное представление о том, как она проводится, чтобы понимать связанные с этим мероприятия. В этих целях отдельные разделы в книге пришлось расширить и несколько углубить, не останавливаясь перед тем, чтобы использовать и математические формулы и некоторые технические приёмы. Возможность использо-

вания математики, однако в пределах, не превышающих знаний, даваемых средней школой, диктуется и заметным повышением образовательного уровня в нашей стране.

При переработке для настоящего издания автор учёл и то, что книга использовалась преподавателями средней школы, а также служила пособием в различных кружках.

Одним из недостатков первого издания была недостаточная наглядность рисунков, их мелкие размеры. Поэтому ряд рисунков заменён новыми, а отдельные рисунки увеличены.

П. И. Попов

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

В третьем издании сохранена в основном общая структура книги и характер изложения. При подробном пересмотре её внесены исправления всех замеченных и указанных в рецензиях недочетов, а также заново составлены таблицы, относившиеся к прошлым годам во втором издании, например таблица фаз Луны.

Кроме того, внесены приложения, согласно пожеланиям, выраженным в рецензиях, как-то: устройство упрощенного высотомера, определение географической широты по высоте Полярной звезды, определение широты места с помощью солнечного кольца. Некоторые рисунки заменены, некоторые внесены дополнительно.

Выражая благодарность всем товарищам, указавшим на недочеты книги в прежнем издании и давшим ценные советы, прошу всех товарищей, пользующихся книгой, сообщить свои пожелания к дальнейшему ее улучшению по адресу: г. Москва, Орликов пер., 3, Государственное издательство технико-теоретической литературы.

П. И. Попов.

18 марта 1953 г.

ВВЕДЕНИЕ

Астрономия — наука о небесных светилах — старейшая из наук о природе. На протяжении всей своей истории она играла исключительную роль в развитии мировоззрений, в борьбе с религиозным, по выражению Маркса, «превратным мирознанием». Она и в настоящее время играет ту же роль как одна из научных основ диалектико-материалистического мировоззрения.

Возникла же и развивалась астрономия в связи с практической деятельностью человека. Говоря о последовательном развитии отдельных отраслей естествознания и устанавливая связь их с производством, Энгельс отмечает: «Сперва *астрономия*, которая уже из-за времён года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов». Таким образом, с незапамятных времён астрономические явления служили основой для измерения времени. Первобытный человек невольно обращал свой взор на небо, примечал те или другие яркие звёзды, повторение появления их над горизонтом и старался таким образом угадать наступление определённого времени года. Смена дня и ночи, различная высота Солнца над горизонтом, изменение вида ночного неба регулировали полевые работы первобытного земледельца.

Попадая в незнакомую местность, человек видел ночью на небе всё те же звёзды, и они направляли его путь. В прежние времена небо было единственным путеводителем, но и теперь оно является единственным источником различных способов точного определения местоположения пунктов, прокладывания линий на Земле, например трасс каналов, различных геодезических работ, проверки часов, составления точных карт и пр.

Способы точного измерения положений звёзд, определения времени, широты и долготы места на Земле, устройство измерительных инструментов, методы работы с ними и пр. — всё это составляет задачу практической астрономии. Она получила такое название в отличие от других отраслей астрономии, таких, как теоретическая астрономия, изучающая при помощи методов высшей математики истинные движения небесных тел в пространстве, или астрофизика, исследующая и описывающая природу небесных тел, их физическое состояние, химический состав и всякие происходящие на них изменения.

Практическая астрономия в настоящее время представляет собой глубоко разработанную отрасль астрономии с весьма точными, математически обоснованными, специальными методами. Мы берём из этой отрасли астрономии для настоящей книги то, что нужно не для специалистов, которые найдут необходимые им знания в специальных курсах практической астрономии, а для широкого круга читателей, нуждающихся в ознакомлении с простейшими приёмами или доступными инструментальными измерениями и способами астрономической ориентировки, а также для людей, желающих получить общее знакомство с практическими применениями астрономии.

Всякие, даже самые простые, способы могут быть хорошо усвоены и правильно применяемы только в случае, если понятны те явления, которые при этом наблюдаются. Поэтому в книге уделено достаточное внимание объяснению самих астрономических явлений, связанных с практикой наблюдений и измерений, а также необходимым сведениям из так называемой сферической астрономии.

Ограничиваясь в дальнейшем изложении только теми вопросами, которые охватываются практической астрономией, мы считаем необходимым предпослать им общее краткое описание окружающего нас мира небесных тел и места, занимаемого среди них Землёй (а стало быть, и нами как наблюдателями) по современным научным представлениям.

Земля представляется нам весьма обширной. О размерах Земли можно судить по величине её радиуса, который составляет приблизительно 6370 км; объём Земли,

следовательно, свыше тысячи миллиардов кубических километров. По своей форме Земля несколько отличается от точного шара; она сжата у полюсов и несколько более выпуклая у экватора. Но это сжатие в общем незначительно: полярный радиус на 21 км короче экваториального, что составляет приблизительно $\frac{1}{300}$ (точнее $\frac{1}{298}$) долю радиуса. Длина 1° дуги меридиана составляет у экватора 110,6 км, а у полюса 111,7 км. Наиболее точно размеры и форма Земли были определены советским геодезистом Ф. Н. Красовским и его сотрудниками. Результаты, полученные Ф. Н. Красовским (экваториальный радиус равен 6 378 245 м, полярный радиус равен 6 356 863 м), имеют большое значение для развития геодезических и картографических работ в СССР.

На расстоянии примерно 60 земных радиусов от Земли находится ближайшее к нам небесное тело — Луна, меньших размеров, чем Земля (радиус Луны 1740 км). Луна является спутником Земли, обращается вокруг неё в $27\frac{1}{3}$ суток и всё время сопровождает Землю в её годичном движении вокруг Солнца. Луна, как и Земля, сама по себе темна, поэтому нам видна бывает только та часть обращённой к Земле поверхности Луны, которая освещена Солнцем. В зависимости от положения Луны относительно Солнца она меняет свой вид, происходит смена так называемых фаз (первая четверть, полнолуние, последняя четверть, новолуние), последовательность которых повторяется через каждые $29\frac{1}{2}$ суток.

Кроме Земли, вокруг Солнца обращаются восемь планет; две из них (так называемые *внутренние*) ближе к Солнцу, чем Земля, а остальные (*внешние*) дальше. (Некоторые данные о планетах, видимых простым глазом, приведены в Приложении II, стр. 149.)

Ближайшая к Солнцу планета — Меркурий — видна только в лучах зари. По объёму она в 20 раз меньше, чем Земля (рис. 1).

Следующая за Меркурием — Венера — лишь немногим меньше Земли. Обращаясь вокруг Солнца, она на небе по временам удаляется от него на $46\text{—}48^\circ$ и сияет на вечернем или утреннем небе гораздо ярче всех звёзд. Наша Земля обращается вокруг Солнца в течение года

на расстоянии в среднем полутора миллиона километров. Ближайший сосед Земли с внешней стороны — планета Марс. Он почти в два раза меньше Земли по диаметру и представляется на небе красноватой звездой. Как и все внешние планеты, он может располагаться на небе в стороне, противоположной Солнцу (находиться в *противостоянии*), и тогда его можно наблюдать всю ночь.

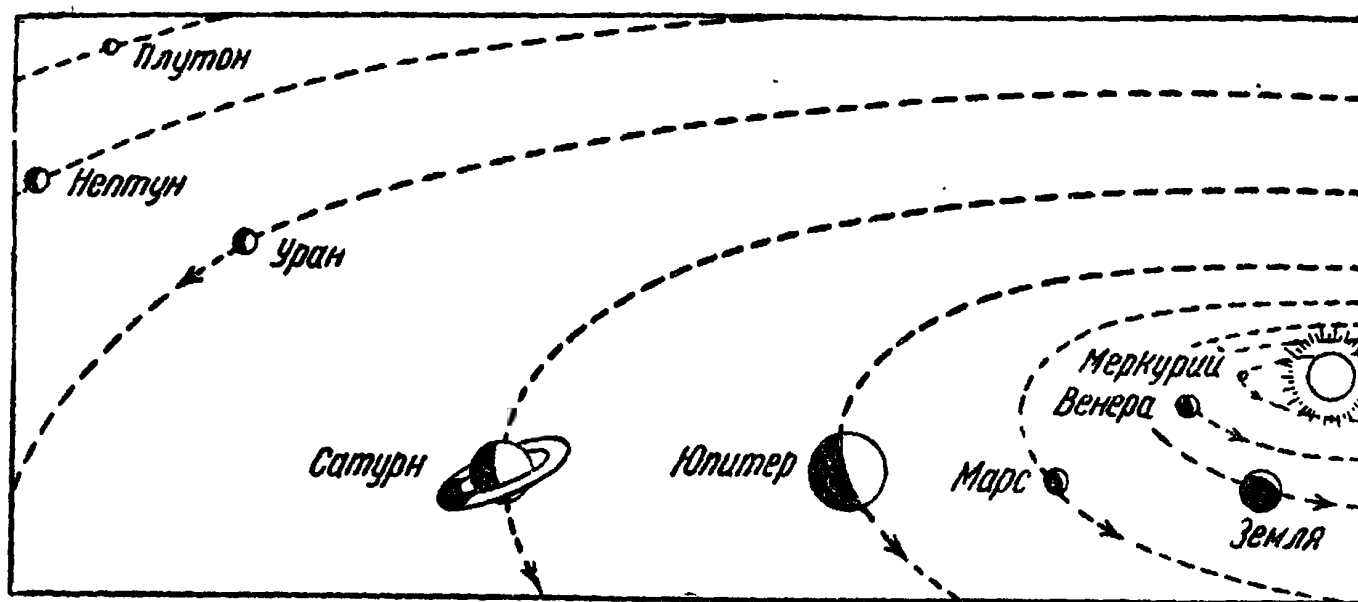


Рис. 1.

В пять раз дальше от Солнца, чем Земля, обращается вокруг него самая большая из планет — Юпитер (её объём в 1300 раз больше объёма Земли). Совершая один оборот вокруг Солнца почти в 12 лет, Юпитер медленно перемещается по небу среди звёзд и виден как очень яркая звезда, светящая спокойным блеском. Ещё дальше от Солнца планета Сатурн. Он несколько меньших размеров, чем Юпитер, и примечателен тем, что окружён кольцом, видимым в телескоп. Перемещается Сатурн по небу ещё медленнее Юпитера и менее ярок, однако он ярче почти всех звёзд.

Все эти планеты можно видеть простым глазом, когда они располагаются на небе достаточно далеко от Солнца. Но этим не исчерпывается наша солнечная семья. С помощью телескопов были открыты и более далёкие планеты, уже не видимые простым глазом. Это большие планеты Уран (в 19 раз дальше от Солнца и почти в 70 раз

больше по объёму, чем Земля) и Нептун (в 30 раз дальше и почти в 60 раз по объёму больше Земли). Наконец, самая далёкая от Солнца планета — Плутон, по размерам несколько меньше Земли, совершает свой оборот вокруг Солнца почти в 250 лет, на расстоянии от Солнца в 40 раз дальше, чем Земля.

В состав солнечной системы входят также несколько десятков тысяч малых планет или астероидов, движущихся в основном между орбитами Марса и Юпитера (из них в настоящее время открыто около двух тысяч), множество комет и метеорных тел.

Центральным телом всей этой системы является Солнце. Оно в миллион триста тысяч раз больше Земли по объёму, а его масса составляет 99,86 % общей массы всех тел, входящих в солнечную систему. Солнце — раскалённый газовый шар; температура его поверхности достигает 6000°.

Но Солнце в окружающем нас мире не одно: все многочисленные звёзды, сверкающие на ночном небе, представляют раскалённые газовые шары, подобные Солнцу, но чрезвычайно удалённые от нас. Более ста лет назад благодаря работам первого директора Пулковской обсерватории В. Я. Струве и других астрономов удалось измерить расстояния до звёзд; оказалось, что от ближайшей из них свет идёт к нам $4\frac{1}{3}$ года. А ведь свет распространяется со скоростью триста тысяч километров в секунду! Есть звёзды, от которых свет идёт десятки, сотни и даже тысячи лет. Значит, когда мы смотрим на звёздное небо, мы видим все звёзды, так сказать, в прошлом: одни такими, какими они были 10 лет назад, другие — 100, третьи — 1000 лет назад и т. д. Если бы мы стали смотреть на наше Солнце с какой-нибудь звезды, то оно представилось бы нам сравнительно слабой звёздочкой, ничем не выделяющейся среди других.

Есть среди звёзд одиночные звёзды, как наше Солнце, но найдены также двойные и кратные, обращающиеся около общего центра. Обнаружены звёзды, которые меняют свой блеск, то ослабляя, то усиливая его, — их называют переменными. Результаты изучения звёзд приводят к выводу, что на Солнце и звёздах находятся в об-

шем те же химические элементы, что и на Земле, и подчиняются они тем же законам.

Количество звёзд на небе кажется неисчислимым, но видимые простым глазом звёзды давно уже подсчитаны—их видно над горизонтом одновременно около 3 тысяч. Звёзд первой величины (наиболее ярких) на всём небе около 20, а второй величины (как Полярная)—около 50.

Изучение распределения звёзд в пространстве показывает, что окружающая нас звёздная система, в которую входит около полутора ста миллиардов звёзд, так называемая Галактика, имеет определённые границы. Основная масса звёзд Галактики концентрируется в плоскости Млечного Пути. В межзвёздном пространстве наблюдаются так называемые галактические туманности, состоящие из сильно разрежённых газов и космической пыли, как светящиеся, так и тёмные. Вся Галактика занимает громадное пространство: её наибольший поперечник таков, что свет проходит его почти в сто тысяч лет.

А что же находится за пределами нашей звездной системы? На небе наблюдаются светящиеся туманности, многие из них имеют спиральную форму. Они оказались состоящими из звёзд. Расстояния до этих туманностей так велики, что свет от них идёт к нам сотни тысяч и миллионы лет. Они представляют собой другие звёздные системы, подобные нашей Галактике. Таких систем обнаружено в мировом пространстве чрезвычайно много.

Как далеко ни проникает человек при помощи всё более совершенных наблюдательных средств в глубь мирового пространства, он находит там всё новые и новые образования материи. И всё находится в движении и изменении. Солнце, увлекая за собой Землю и все другие движущиеся вокруг него тела, само движется в направлении к созвездию Лиры со скоростью 20 км в секунду. Все звёзды в свою очередь также движутся, и если человеку расположение их на небе друг относительно друга кажется неизменным, то это только потому, что они очень далеки от нас. Наряду с движениями отдельных звёзд в различных направлениях обнаружено вращение всей Галактики, в котором участвует и наше Солнце, и, наконец,

движение целых галактик в пространстве по разным направлениям.

Исследование изменений, происходящих в небесных телах, сравнение их привели к выводу, что различные звёзды, целые звёздные системы предстают перед нами на разных стадиях своего развития. И вся вселенная представляется нам как материальный процесс, развёртывающийся бесконечно во времени и пространстве.

Только потому, что процессы в звёздном мире протекают в невообразимо большие промежутки времени, а сами звёзды чрезвычайно далеки от нас, все их изменения и движения остаются почти незаметными для человека не только в течение его жизни, но и на протяжении веков и тысячелетий.

Вот почему люди ещё с древних времён стали отличать близкие к нам Солнце, Луну и планеты от тех несравненно более далеко находящихся светил, которые заполняют так называемое небо неподвижных звёзд. Мы и теперь видим на ночном небе всё те же группировки звёзд или созвездия, которые видели и древние греки две тысячи лет назад. Эта видимая как бы неизменность взаимного расположения звёзд и созвездий и даёт нам возможность ориентироваться по звёздам, как по неподвижным маякам.

ГЛАВА I

ПРИБЛИЖЕННЫЕ СПОСОБЫ ОРИЕНТИРОВКИ

Ориентироваться на местности — это значит указать, где мы находимся и в какой стороне от нас лежит север (С). Встав лицом к северу (рис. 2), мы будем иметь направо восток (В), налево — запад (З), а сзади — юг (Ю).

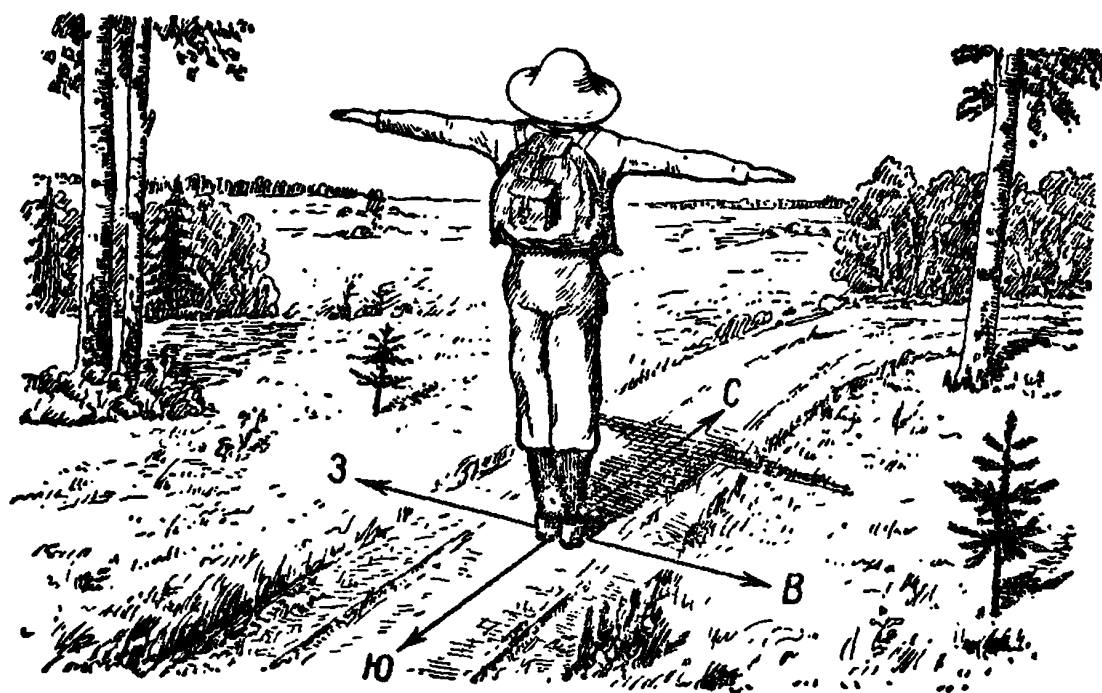


Рис. 2.

Посредине между севером и востоком — северо-восток (СВ), между севером и западом — северо-запад (СЗ) и аналогично — юго-восток (ЮВ), юго-запад (ЮЗ).

Если мы имеем план или карту, то на них указывается направление на север: на плане обычно ставится стрелка, а на карте имеется сетка линий, одни из которых идут с юга на север, другие — с запада на восток. На местности таких указателей нет, и направление на север надо опре-

делять или по компасу или по небесным светилам: днём по Солнцу, а вечером и ночью — по Луне и звёздам.

Обычно считается, что магнитная стрелка на компасе направлена тёмным концом к северному полюсу Земли. В действительности она направлена не к географическому, а к магнитному полюсу, который находится на некотором расстоянии от географического северного полюса ¹⁾. Поэтому стрелка компаса вообще несколько отклонена от точного направления на север и притом в разных местах различно. Угол между направлением магнитной стрелки и точным направлением на север называется *магнитным склонением*. В Москве склонение магнитной стрелки составляет около 7° к востоку, т. е. стрелка отклонена на 7° вправо от истинного направления на С (рис. 3). Но вообще магнитное склонение под-

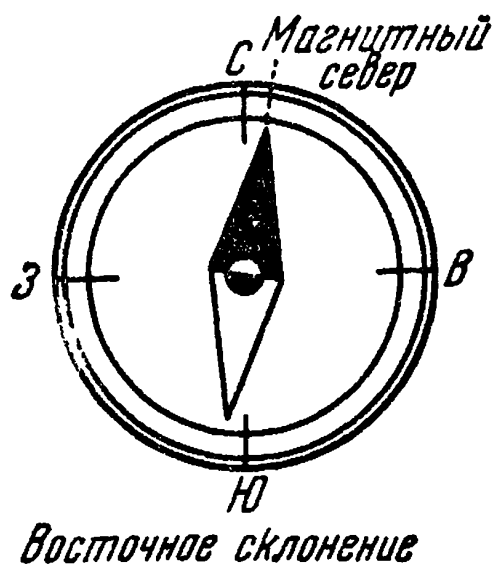


Рис. 3.

вергается некоторым изменениям даже и в одном месте, а в отдельных местах, где в глубине Земли имеются залежи железной руды, например, в Курской области, в некоторых местах нашего Дальнего Востока и Урала, магнитная стрелка может настолько сильно отклоняться в сторону, что там совсем нельзя пользоваться компасом.

В Приложении XV (см. вкладку в конце книги) изображена карта нашей страны с проведёнными на ней линиями одинаковых восточных (непрерывные линии) и западных (прерывистые линии) склонений (изогоны). На каждой линии указана величина склонения.

Небесные светила дают нам возможность более точно определять направление и положение места на Земле.

Ещё Колумб, пустившийся в неведомый до тех пор океан и открывший Америку (1492 г.), заметил ненадёжность компасной стрелки в правильном указании напри-

¹⁾ Северный магнитный полюс имеет широту 70° и западную долготу 96° .

вления и говорил: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление — это астрономическое; счастлив тот, кто с ним знаком».

Наблюдая положения светил на небе, мы сможем более уверенно ориентироваться и сумеем выйти из затруднительного положения. Рассмотрим сначала наиболее простые и всем доступные приближённые способы ориентировки по небесным светилам, для которых не требуется специальных приборов и таблиц.

§ 1. Ориентировка по Солнцу

Обычно говорят, что Солнце восходит на востоке и заходит на западе. Но наблюдательный человек может убедиться, что это происходит только в определённые дни года, когда день равен ночи, т. е. в дни равноденствий: весеннего — 21 марта и осеннего — 23 сентября. Весной и осенью мы будем направляться прямо на север, если будем иметь восходящее Солнце с правой стороны или, как говорят лётчики, держать его в правом траверзе; на юг же будем направляться, держа Солнце в левом траверзе, на восток, — направляясь прямо на Солнце (Солнце в направлении курса), на запад — от Солнца (Солнце в хвосте). Заходящее Солнце весной и осенью при направлении на север надо держать в левом траверзе, при направлении на юг — в правом траверзе, при направлении на восток — в хвосте, а на запад — в направлении курса.

При приближении лета с каждым днём место восхода и захода Солнца перемещается по горизонту в сторону севера. Так продолжается до 22 июня (день летнего солнцестояния), когда у нас день бывает самый длинный, а ночь самая короткая. Таким образом, среди лета в наших местах Солнце восходит между севером и востоком, заходит между севером и западом (рис. 4). Потом место восхода Солнца совершает обратный путь по горизонту, приближаясь к точке востока, а место захода возвращается к западу. Начиная с дня осеннего равноденствия, места восхода и захода Солнца оказываются по другую сторону от точек востока и запада и удаляются от них с

каждым днём всё больше к югу. Это продолжается до 22 декабря (день зимнего солнцестояния), когда у нас бывает самый короткий день и самая длинная ночь. Солнце восходит между югом и востоком, заходит между югом и западом. При приближении весны места восхода

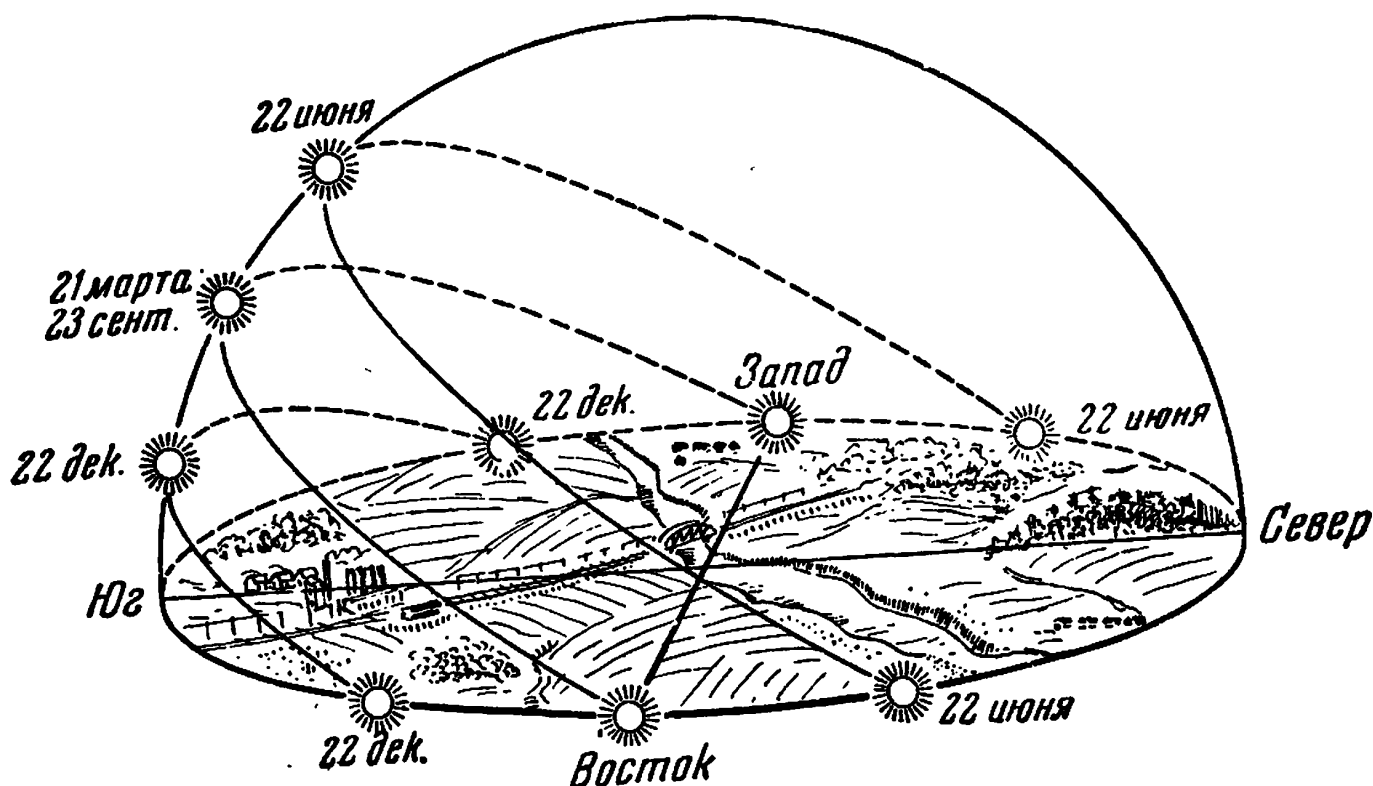


Рис. 4.

и захода Солнца опять приближаются к точкам востока и запада.

Меняется и время восхода и захода Солнца: если в дни равноденствий Солнце восходит за 6 часов до полудня (четверть суток) и заходит 6 часов спустя после полудня, то летом оно взойдёт раньше и зайдёт позднее, а зимой, наоборот, — взойдёт позднее и зайдёт раньше. Но и летом за 6 часов до полудня Солнце бывает на небе приблизительно над точкой востока, а 6 часов спустя после полудня — над точкой запада.

Поднимаясь всё выше, Солнце занимает самое высокое положение на небе в полдень и располагается в это время как раз над точкой юга. Это бывает каждый день; значит, в любой день года мы можем в полдень безошибочно определить направление на юг, став в это время лицом к Солнцу. Заметим, что в полдень тени от всех вертикально стоящих предметов — самые короткие, так

как Солнце в это время поднимается выше всего над горизонтом. Эта самая короткая полуденная тень направлена как раз на север. Поэтому горизонтальная прямая, соединяющая север и юг, называется *полуденной линией*.

За сутки Солнце делает полный оборот по небу, а за час продвигается на одну двадцать четвёртую часть оборота. Полная окружность обычно делится на 360 частей или градусов (360°). Одна двадцать четвёртая часть окружности составляет 15° . Значит, за каждый час Солнце суточным вращением продвигается на 15° .

Чтобы дать понятие о градусе на небе, заметим, что видимые диски Солнца и полной Луны имеют в поперечнике около полуградуса. Угол же в 15° получается приблизительно между лучами зрения, проведёнными к концам расставленных большого и указательного пальцев вытянутой руки.

Зная всё это, можно, правда весьма приближённо, определять направление по Солнцу в разные часы дня, а также определять и время по положению Солнца на небе.

Ещё лучше узнавать направление по Солнцу можно, имея в своём распоряжении карманные или ручные часы. В самом деле, циферблат разделён на 12 часов и часовая стрелка делает на нём два полных оборота в сутки. Значит, в то время как конец часовой стрелки сделает два круга, Солнце сделает один круг, т. е. оно оборачивается вдвое медленнее, чем часовая стрелка.

Если в полдень положить часы горизонтально так, чтобы продолжение часовой стрелки было прямо под Солнцем, то это будет направление на юг. На циферблате в это время часовая стрелка должна была бы стоять на цифре 12. Но так как ещё с 1930 г. все часы в гражданском обиходе Советского Союза переведены на час вперёд и введено поясное время (см. гл. III, § 9), то полдень, по-нашему, будет не около 12 часов, а около 13 часов (на обычном циферблате — 1 час после полудня) на среднем меридиане данного пояса, а в других местах больше или меньше в зависимости от долготы места и удалённости этого места от среднего меридиана пояса. В какой-нибудь другой час до полудня или после полудня надо часы положить так, чтобы продолжение часовой

стрелки располагалось под Солнцем. А затем, чтобы найти юг, т. е. место, над которым Солнце располагается в полдень, надо промежуток на циферблате между концом часовой стрелки и 1 часом разделить пополам (рис. 5). Направление от центра циферблата через полученную середину и укажет на юг. В Москве в истинный полдень часы показывают 12 ч. 30 м. Следовательно, в

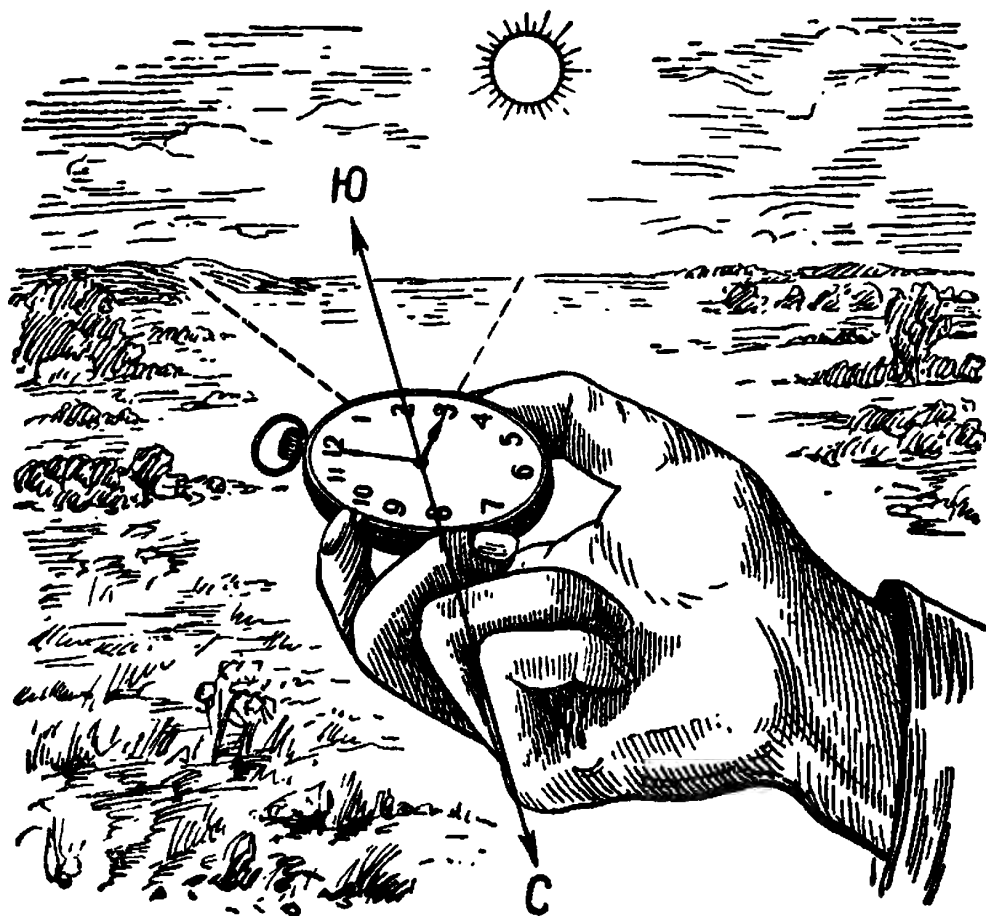


Рис. 5.

Москве надо на циферблате делить пополам угол между часовой стрелкой и средней линией между цифрами 12 ч. и 1 ч. Можно заметить на горизонте какой-нибудь предмет в этом направлении и по нему держать свой курс.

Зная, что до полудня Солнце находится к востоку от направления на юг, а после полудня — к западу, циферблат часов нужно располагать так, чтобы при определении направления на юг до 1 часа дня цифра циферблата 1 час находилась справа от Солнца, а при определении после 1 часа дня — слева от Солнца. Заметим, что смотреть надо только на часовую стрелку, на минутную же не следует обращать никакого внимания.

Время восхода и захода Солнца меняется в течение года и различно в разных местах Земли; соответственно меняется и продолжительность дня. Это изменение для Москвы и для мест, удалённых от неё к северу до широты 65° или к югу до широты 45° , представлено наглядно на графике (рис. 6), где по горизонтальной линии отложены месяцы и дни, а по перпендикуляру к ней часы дня — до полудня снизу и после полудня сверху. Средняя горизонтальная линия соответствует полудню.

Жирные линии дают местное гражданское время восхода и захода Солнца для широты Москвы ($55^\circ 45'$), пунктирные — для широты 45° , пунктир с точкой — для широты 65° . Чтобы определить время восхода или захода Солнца для любого дня года, надо на горизонтальной линии найти данный месяц, взять внутри него на полуденной линии точку, приблизительно соответствующую данному числу, и на вертикальной линии сетки посмотреть, против какого часа она пересекает кривую линию. Например, определим время восхода и захода Солнца в Москве 21 мая. На горизонтальной линии графика берём точку, соответствующую 21 мая. Вертикальная линия, проходящая через эту точку, пересекает кривую внизу против $3\frac{1}{2}$ ч., а вверху против $20\frac{1}{2}$ ч. Сравнив с календарными данными (восход Солнца 3 ч. 38 м., заход — 20 ч. 16 м.), видим, что ошибка не превосходит четверти часа.

Заметим, что здесь имеется в виду местное время, а как оно относится к принятому времени, по которому идут наши часы, об этом будет рассказано дальше (см. гл. III, § 9).

Если приходится быть продолжительное время в одном и том же месте, то полезно, наметив более точное направление на север и юг, провести полуденную линию.

Это можно сделать по самой короткой тени от вертикальных предметов в полдень. Но уследить, когда тень самая короткая, трудно, так как длина её меняется медленно и незаметно для глаза. Надо отметить одинаковые тени до полудня и после полудня, а затем взять среднее направление. Для этого на ровной площадке поставим шесть вертикально по отвесу или по нитке с грузом. За

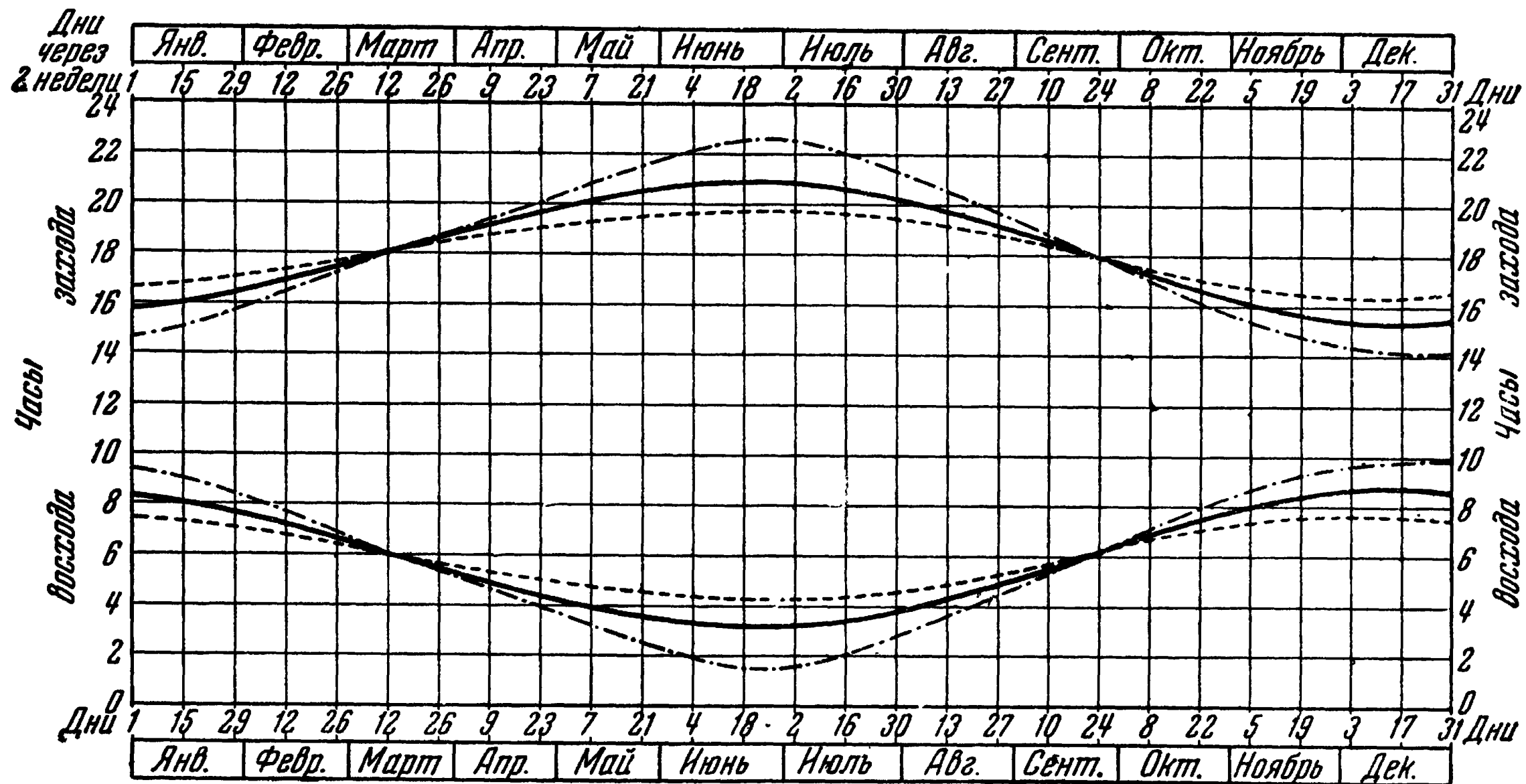


Рис. 6.

некоторое время до полудня, примерно за час-два, отметим конец A тени шеста (рис. 7). Привязав бечёвку к нижней части шеста O , начертим на площадке часть круга AB радиусом, равным длине тени OA .

Вследствие суточного движения Солнца тень от шеста будет перемещаться и укорачиваться, а потом опять

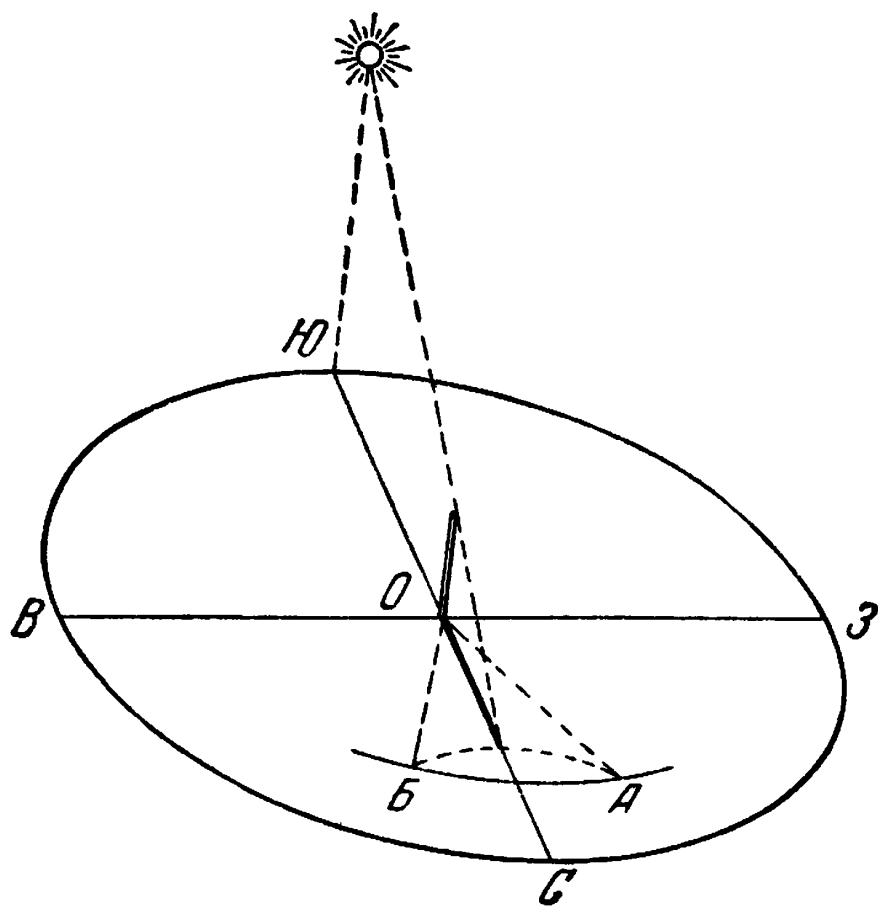


Рис. 7.

начнёт удлиняться, пока своим концом не упрётся в начерченный круг. Отметив эту точку $Б$, разделим пополам расстояние между A и $Б$ и проведём через найденную середину и основание шеста направление OC , которое и даст нам полуденную линию. Её можно отметить, вбив в двух её точках колышки.

Для большей точности определения меридиана таким способом не ограничиваются одной парой симметричных относительно полуденной линии точек, а отмечают обычно три пары их с некоторыми промежутками времени. Для каждой из этих пар находят середину и затем проводят прямую линию от основания вертикального стержня O между найденными тремя серединами как наиболее подходящую среднюю.

Вертикальный шест на горизонтальной площадке был у древних наблюдателей важнейшим инструментом, при помощи которого они определяли не только направление полуденной линии, но и высоту Солнца (сравнением длины тени шеста с его высотой), время и пр. Инструмент этот они называли *гномоном*.

§ 2. Ориентировка по Луне

Даже днём иногда Луна бывает заметна на небе, а после захода Солнца она прежде всего обращает на себя наше внимание среди небесных светил. Но Луна не всегда бывает на небе, а если и бывает, то неодинакового вида в разные дни. Всякий имел возможность много раз наблюдать Луну во всех её видах и положениях, так как она повторяет все эти изменения каждый месяц, вернее каждые $29\frac{1}{2}$ суток. Бывают ночи, когда Луны на небе совсем не видно, хотя небо безоблачно. Вечером дня через два на западе, левее заходящего Солнца, можно заметить узкий серп Луны, который вскоре за Солнцем и заходит. Его рога направлены от Солнца. С каждым следующим вечером этот серп всё утолщается, отодвигается дальше от Солнца влево (с запада к востоку) и всё дольше виден после захода Солнца на вечернем небе. Через неделю во время захода Солнца на юге бывает уже видно полдиска, и Луна освещает Землю в течение первой половины ночи. Продолжая с каждым днём утолщаться и отодвигаться по небу к востоку, Луна светит всё дольше, заходя всё позднее после полуночи. Через две недели мы можем заметить при заходе Солнца полный диск восходящей Луны. Поднимаясь вечером в восточной стороне неба, полная Луна к полуночи занимает самое высокое положение и располагается в это время над точкой юга, а затем переходит на западную сторону неба и заходит уже с восходом Солнца.

Полная Луна светит всю ночь, подобно тому как Солнце сияет днём. Надо только заметить, что полная Луна находится в противоположной стороне неба по отношению к Солнцу, да, кроме того, она движется в плоскости, наклонённой к плоскости движения на небе

Солнца. Благодаря этому летом мы видим на небе полную Луну так, как Солнце зимой, т. е. значительно ниже обычного над горизонтом, а восход и заход Луны происходят ближе к югу. Зимой же, наоборот, полная Луна высоко поднимается в полночь, а восходит между севером и востоком, заходит между севером и западом.

В следующие вечера, после того как мы видели полную Луну, она восходит всё позднее, и мы видим её уже урезанной с правой стороны. Через три недели после своего появления видна вторая половина диска Луны, она восходит около полуночи, поднимается утром над точкой юга и освещает Землю во вторую половину ночи. С каждым днём серп Луны делается всё тоньше, всё позже поднимаясь из-за горизонта. К концу четвёртой недели мы видим серп Луны на востоке перед самым восходом Солнца. Его рога опять направлены от Солнца, и он напоминает букву С. Наконец, Луна совсем исчезает на небе, с тем чтобы вновь появиться через 4—5 дней слева от Солнца. Но тогда мы начинаем её видеть опять при заходе Солнца. Зная повторяемость всех этих явлений, мы можем рассчитать наперёд, когда будут лунные или тёмные ночи.

При всех изменениях Луны мы различаем четыре главнейшие её фазы:

1. Новолуние (обозначается ) — Луны не видно.

2. Первая четверть  — видно полдиска выпуклостью с правой стороны; вечером Луна находится на южной стороне неба, светит первую половину ночи.

3. Полнолуние  — виден полный диск; светит всю ночь, в полночь находится над точкой юга.

4. Последняя четверть  — видно полдиска выпуклостью слева; восходит около полуночи, утром находится на южной стороне неба, светит вторую половину ночи.

Промежутки между фазами около недели, точнее: $29,5 : 4 = 7,4$ суток (29 сут. 12 час. 44 мин. : 4 = 7 сут. 9 час. 11 мин.). Заметим, что из-за неравномерности движения промежутки между фазами могут несколько меняться.

Вид Луны в первую и последнюю четверти легко отличить, заметив, что если, соединив «рога» Луны пря-

мой линией, получим букву Р, — значит, Луна растёт, если же Луна своим видом напоминает букву С, то она стареет, или, как говорят, находится на ущербе.

Все эти положения Луны мы легко усвоим, если будем знать, как и почему происходят различные изменения видимости Луны.

Лунный шар, так же как и земной, освещается далёким Солнцем, и мы видим только освещённую часть его

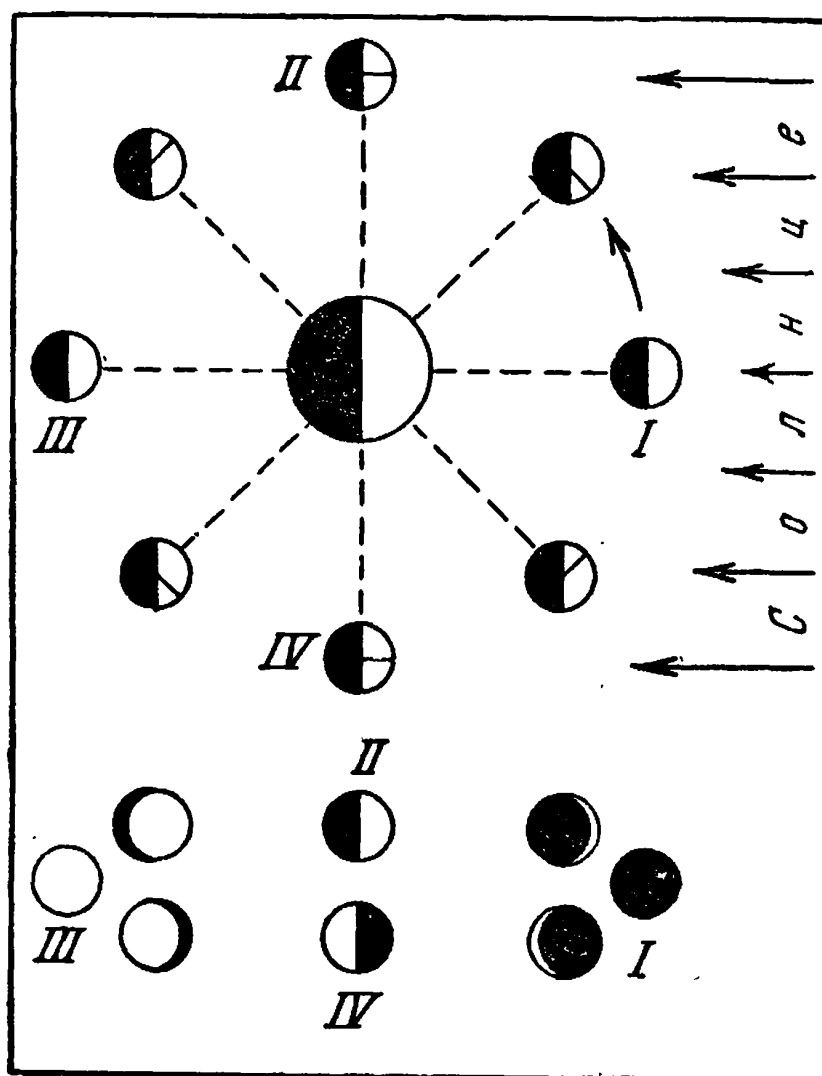


Рис. 8.

поверхности. Луна движется так, что к Земле обращена всё время одна и та же половина лунного шара. Видимая половина лунного шара при движении Луны вокруг Земли бывает освещена Солнцем по-разному. Рис. 8 показывает различные положения Луны в пространстве и её видимость с Земли: *I* — соответствует новолунию, *II* — первой четверти, *III* — полнолунию и *IV* — последней четверти. В промежутках до полнолуния становится видимой всё более и более возрастающая, а после полно-

луния — всё более убывающая часть видимой половины. В полночь, т. е. в начале суток, полная Луна бывает на юге в противоположной стороне по отношению к Солнцу и с каждым часом перемещается суточным вращением приблизительно на $\frac{1}{24}$ полного оборота или на 15° . Значит, если мы наблюдаем полную Луну, например, 3 часа спустя после полуночи (4 часа ночи по нашим часам), то она отойдёт в это время от южного направления примерно на 45° ($3 \cdot 15^\circ$), т. е. будет видна в юго-западном направлении. Если же наблюдать полную Луну вечером, например за 4 часа до полуночи (21 час или 9 час. вечера по нашим часам), то она в это время расположена к востоку на 60° ($4 \cdot 15^\circ$), т. е. на расстоянии $\frac{2}{3}$ дуги от юга до востока. При ориентировке по Луне можно пользоваться следующей таблицей:

Вид Луны (фазы)	Луна видна на				
	востоке	юго-востоке	юге	юго-западе	западе
	10 ч.	13 ч.	16 ч.	19 ч.	22 ч.
	13 ч.	16 ч.	19 ч.	22 ч.	1 ч.
	16 ч.	19 ч.	22 ч.	1 ч.	4 ч.
	19 ч.	22 ч.	1 ч.	4 ч.	7 ч.
	22 ч.	1 ч.	4 ч.	7 ч.	10 ч.
	1 ч.	4 ч.	7 ч.	10 ч.	13 ч.
	4 ч.	7 ч.	10 ч.	13 ч.	16 ч.

Таким образом, зная, в котором часу мы наблюдаем, мы можем приблизительно ориентироваться по полной Луне.

Чтобы определить приближённо направление по любой фазе Луны и часам, надо принять во внимание, что, вырастая за две недели до полного диска, Луна переместится за это время по небу с запада к востоку на полкруга, т. е. на 180° . Увеличение же освещённой части диска на $1/12$ часть соответствует перемещению её на 15° к востоку. Суточное вращение небесного свода в течение часа «перемещает» Луну на 15° к западу. Значит, увеличение освещённой части диска на $1/12$ соответствует «запаздыванию» Луны на час. Прибавив этот час к показа-

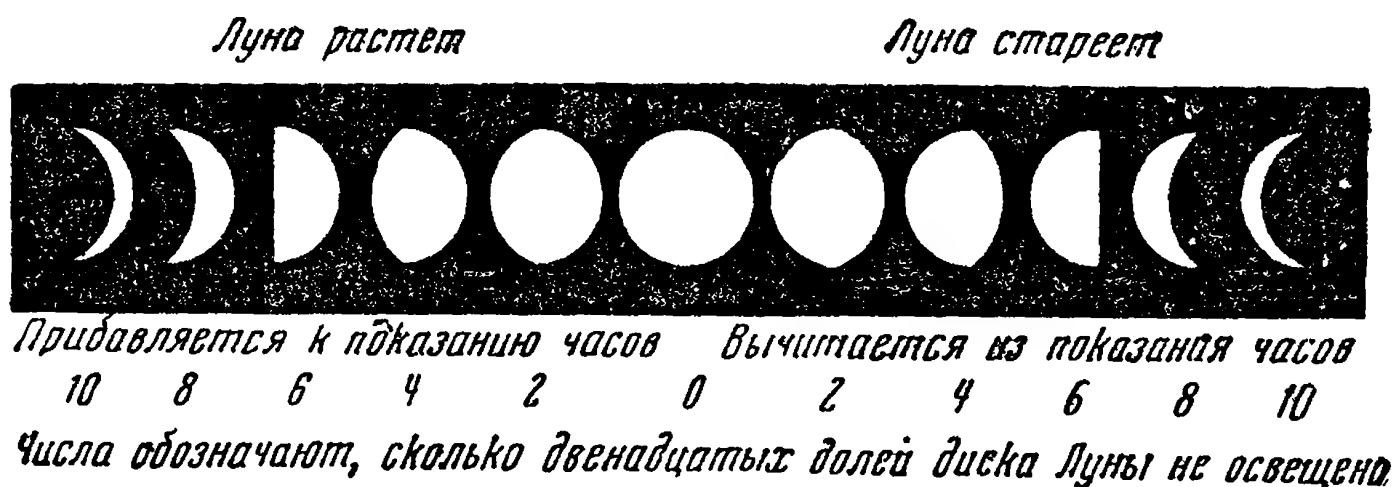


Рис. 9.

нию наших часов, мы получим время, в которое неувеличенная часть диска была бы на месте увеличенной на $1/12$. Точно так же после полнолуния Луна убывает, и всё больше становится неосвещённая часть лунного диска. Таким образом, надо определить на глаз, сколько двенадцатых долей лунного диска не освещено (рис. 9). Это число неосвещённых двенадцатых долей диска следует прибавить к показаниям часов, если Луна растёт, или вычесть из показания часов, если Луна стареет. Часы надо отсчитывать в двадцатичетырёхчасовой системе (например, 8 час. вечера считать за 20 час.).

Если показание часов даёт число, меньшее числа двенадцатых долей диска Луны, то до вычитания надо к показанию часов прибавить 24. Например, часы показывают 3 часа, а надо вычесть 6. В этом случае к 3 прибавляем 24; получаем 27, из которых вычитаем 6 и получаем 21. Полученное таким образом число даёт возможность рассчитать, в каком направлении находится

Луна в данный момент, или найти, как говорят лётчики, её истинный пеленг¹⁾).

Надо заметить, что число 25 (полночь) соответствует направлению на юг или истинному пеленгу Луны 180° . На сколько единиц полученное при расчете по фазе Луны

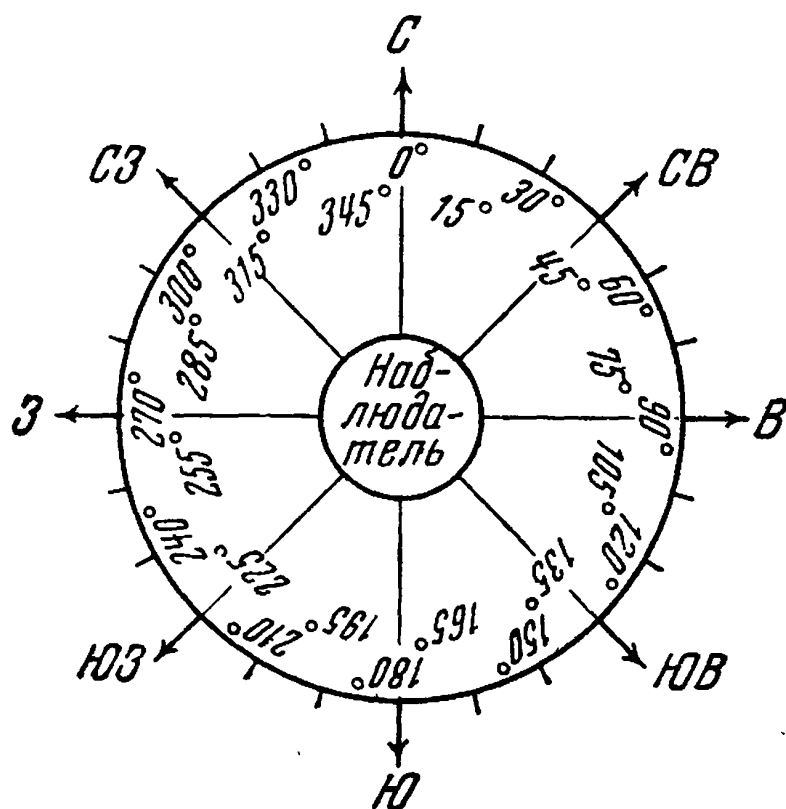


Рис. 10.

и часам число больше 25, столько раз надо повторить 15° и прибавить результат к 180° . В противном случае нужно из 180° вычесть столько раз 15° , на сколько полученное число меньше 25. Таким образом, мы получим истинный пеленг Луны, т. е. угол между направлением на неё и на север.

Это несколько длинное, по необходимости, объяснение при ясном понимании явления и при тренировке даёт практически

удобный и занимающий очень мало времени способ приближённой ориентировки по Луне²⁾.

Пример. Пусть часы показывают 11 час. вечера, т. е. 23 часа. Фаза Луны такова, что она растёт и неосвещённая часть диска составляет $\frac{1}{3}$ или $\frac{4}{12}$. Прибавляем 4 к 23, получаем 27. Это число больше 25 на 2 часа.

Взяв два раза по 15° , т. е. 30° , прибавляем их к 180° ; получается 210° . Луна направлена на 30° к западу от юга, т. е. находится между югом и юго-западом, ближе к юго-западу (рис. 10).

¹⁾ Пеленг (голландское слово, обозн. угол) определяет направление на данный предмет по отношению к направлению на север и выражается углом в градусах (рис. 10).

²⁾ Указанный расчёт даёт более грубый результат у краёв лунного диска, т. е. близ новолуния (узкий серп луны) и полнолуния (мало ущерблённая Луна). Причина в том, что благодаря шарообразности Луны мы видим у краёв поверхность Луны в перспективе сокращённой по лучу зрения.

Другой пример. Показание часов 3 часа, неосвещённая часть диска стареющей Луны $\frac{5}{12}$, Луна несколько больше половины. Делаем расчёт: $3 + 24 = 27$, $27 - 5 = 22$, $25 - 22 = 3$, $3 \cdot 15^\circ = 45^\circ$, $180^\circ - 45^\circ = 135^\circ$. Луна — на юго-востоке.

Фазы Луны в 1953 и 1954 гг.

(в строках месяцев указаны числа, в которые наступают фазы)

Фазы Годы Месяцы	Последняя четверть		Новолуние		Первая четверть		Полно- луние		Последняя четверть		Новолуние	
	1953	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1953 1954	1954
Январь . . .	8	15 5	22 12	30 19		27						
Февраль . .	7	14 3	20 10	28 17		26						
Март	8	15 5	22 11	30 19		27						
Апрель . . .	7	13 3	21 10	29 18		26						
Май	6	13 2	20 9	28 18		25						
Июнь	4	11 1	19 8	27 16		23	30					
Июль	4	11	19 8	26 16		23	30					
Август	2	9	17 6	24 14	31	21	28					
Сентябрь . .		8	16 5	23 12	30	19	27					
Октябрь . . .		8	16 5	22 12	29	18	26					
Ноябрь		6	14 3	20 10	28	17	25					
Декабрь . . .		6	13 3	20 10	28	17	25					

§ 3. Ориентировка по звёздам

Солнцем мы можем пользоваться для ориентировки только днём, а Луна не всегда бывает видна на небе; зато во всякую безоблачную ночь над нами сияют звёзды, которые и могут служить нам хорошими путеводителями. Но для этого надо хорошо познакомиться с ними. Ведь звёзд на небе много. Вспомним художественные строки нашего величайшего учёного и поэта Ломоносова:

«Открылась бездна, звёзд полна,
Звездам числа нет, бездне — дна».

Всматриваясь внимательнее в эти кажущиеся бесчисленными и беспорядочно расположенными по небу

звёзды (рис. 11), мы замечаем среди них более яркие, которые не так трудно сосчитать.

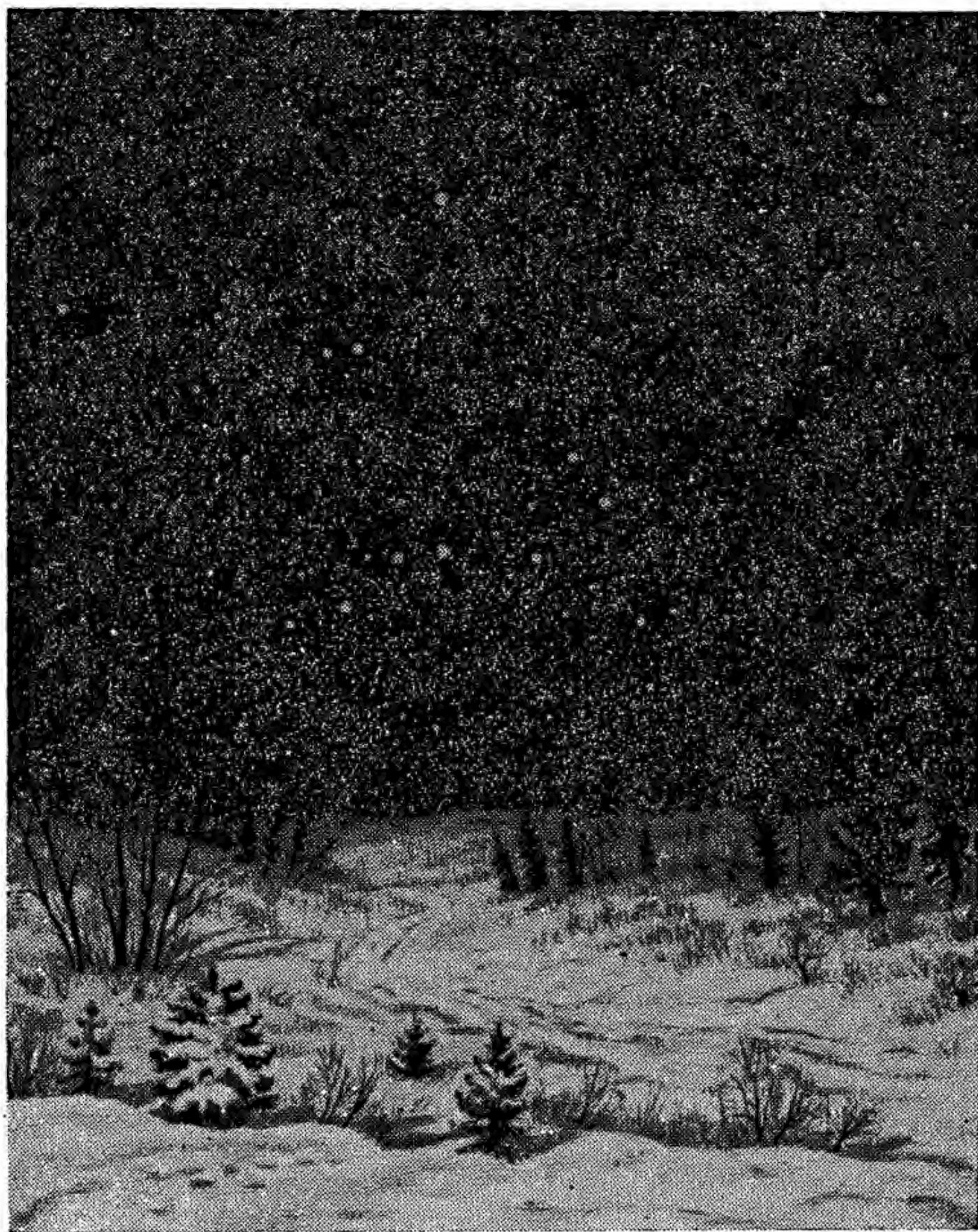


Рис. 11.

Надо научиться различать их, уметь находить на небе отдельные звёзды и группы их, знать, когда и какие из

них находятся в той или другой стороне. По ним и ориентироваться.

Наблюдая звёздное небо и особенно обращая внимание на более яркие звёзды, можно заметить, что они как бы образуют различные фигуры. Эти фигуры, или созвездия, напоминали древним наблюдателям формы животных и различных предметов. В некоторых из них они видели своих мифических героев. Поэтому созвездия получили такие названия, как Медведица, Лебедь, Лира, Корона, Персей, Орион и пр., которые сохранились и до сих пор.

Присматриваясь к разным созвездиям, мы скоро замечаем, что в разное время они видны на разной высоте, восходят и заходят, но не меняют взаимного положения друг относительно друга. При этом они кажутся нам расположенными на некотором шарообразном своде. Этот свод как бы поворачивается вокруг нас как одно целое в течение суток. На самом деле звёзды находятся от нас на различных расстояниях. Эти расстояния так велики, что наш глаз не может отличить, какие светила ближе к нам, какие дальше, а потому они нам кажутся одинаково далёкими. Шаровая поверхность отличается от других тем, что все её точки одинаково удалены от центра. Обычно шаровую поверхность, на которой как бы расположены все окружающие наблюдателя светила, называют *небесной сферой*, причём глаз наблюдателя находится в центре сферы.

В древности так и думали, что Земля стоит неподвижно в центре вселенной и вокруг неё вращаются хрустальные сферы с прикреплёнными к ним светилами. Теперь мы знаем, что никакого небосвода и никаких сфер на самом деле не существует, но такой воображаемой сферой мы пользуемся, так как она удобна для определения видимого положения небесных светил. При этом нам нужно знать только направление, по которому видно от нас то или другое светило. Поэтому безразлично, какого размера сферу мы себе представим. Она имеет, как говорят, неопределённый или произвольный радиус. Взаимное положение светил и измеряется углом между направлениями на них от глаза наблюдателя или соответствующей дугой на сфере. Например, если взять напра-

вления на два противоположных края полной Луны, то угол между ними составляет полградуса, и видимый поперечник диска Луны на небесной сфере измеряется дугой также в полградуса.

Чтобы легче было определять положение тех или других светил, условились отмечать на небесной сфере точки и линии, по отношению к которым и определяют положение

светил. Эти точки и линии следует запомнить.

Всегда можно представить в месте наблюдения вертикальную линию, направление которой совпадает с направлением силы тяжести. По этому направлению располагается отвес (нить, натянутая прикреплённым к ней грузом). Вертикальная линия, продолженная вверх, пересечёт небесную сферу над головой наблюдателя в точке Z , которая называется *зенитом* (рис. 12).

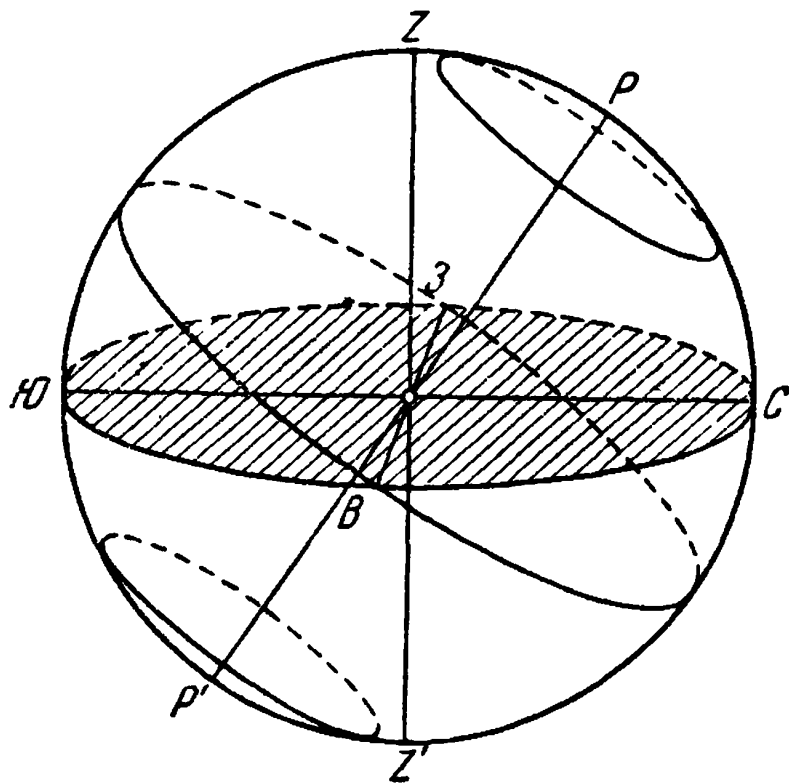


Рис. 12.

Если вообразить полную сферу, то противоположная зениту точка её Z' называется *надиром*. Отсюда названия: зенитная артиллерия и надирная фотография (когда производится фотосъёмка с самолёта).

Горизонтальная плоскость, проходящая через глаз наблюдателя перпендикулярно к вертикали, пересечёт небесную сферу по окружности, которая называется математическим или истинным *горизонтом* в отличие от видимого горизонта на земной поверхности, т. е. той линии, по которой небесный свод кажется нам пересекающимся с ровной поверхностью Земли.

После первых же наблюдений звёздного неба мы убеждаемся в том, что оно со всеми видимыми на нём светилами вращается как одно целое в течение суток так, что с одной (восточной) стороны звёзды поднимаются, а с другой (западной) стороны — опускаются. При этом

можно заметить в северной стороне неба звезду, которая наблюдателю в данном месте кажется почти неподвижной, показывая тем самым направление оси вращения. Звезду эту называли *Полярной*.

Ясное представление о видимом суточном вращении звёздного неба даёт фотография северной части небосвода (рис. 13). При этом фотографический аппарат был



Рис. 13.

направлен на точку, вокруг которой нам кажется вращающимся всё звёздное небо и которая называется *полюсом мира*. Снимок производился при неподвижном аппарате с выдержкой в течение часа. Все дуги, представляющие следы звёзд на фотографической пластинке, соответствуют одному углу поворота около полюса мира. Полярная звезда описывает совсем маленький кружок,

так как она расположена не точно в полюсе мира, а отстоит от него приблизительно на 1° . Если бы мы, заметив расположение звёзд, на следующий вечер, через сутки, встали опять на то же место, то увидели бы над собой приблизительно такое же расположение звёзд. Это видимое суточное вращение звёздного неба, как установлено ещё со времён Коперника (XVI век), есть явление кажущееся и происходит потому, что наш земной шар непрерывно вращается в противоположном направлении (с запада на восток). Мы, находясь на Земле и вращаясь вместе с ней, этого вращения не замечаем. Зато мы видим, как все окружающие нас светила совершают оборот вокруг нас с востока на запад. По этой же причине нам кажется, что и Солнце и Луна восходят на восточной стороне и совершают свой суточный путь по небу.

Наблюдая вращение всего звёздного неба, мы можем представить себе прямую линию, вокруг которой происходит это вращение и которую называют *осью мира*. *Полюс мира* и есть точка пересечения оси мира с небесной сферой.

Представим себе плоскость, проходящую через наш глаз, зенит и полюс мира. Эта плоскость пересечёт небесную сферу по большому кругу, называемому *небесным меридианом*. На рис. 12 (стр. 32) это — плоскость чертежа. В ней расположены вертикальная линия и ось мира. Эта плоскость совпадает с плоскостью земного меридиана. Небесный меридиан пересекает горизонт в точках Севера (С или N — под полюсом мира на горизонте) и Юга (Ю или S). Значит, мы будем знать точно направление на север и юг, а стало быть, на восток (В или E) и запад (З или W), если сумеем провести на небесной сфере меридиан, а в этом и помогут нам звёзды.

Вследствие суточного вращения звёзды, как и Солнце и Луна, поднимаясь с восточной стороны, занимают своё самое высокое положение над горизонтом, когда они проходят через меридиан. Пройдя же меридиан, они опускаются к горизонту, но уже в западной стороне. Положение звезды в меридиане называется её *кульминацией*. Каждая звезда в течение суток дважды проходит через меридиан и имеет две кульминации. Одну из них назы-

вают верхней, а другую — нижней. *Верхняя* кульминация происходит в той половине меридиана от полюса мира, которая проходит через точку юга, а *нижняя* — в той его половине, которая проходит через точку севера. Например, для Солнца полдень — это тот момент, когда Солнце бывает в верхней кульминации, располагается на меридиане над точкой юга, а полночь — когда Солнце бывает в нижней кульминации. Полуденная линия, идущая с юга на север, представляет собой, очевидно, линию пересечения плоскости меридиана с плоскостью горизонта.

Приблизённо мы можем определить направление меридиана по Полярной звезде, принимая её за полюс мира. Полярную же звезду, которая всегда расположена над горизонтом в нашем северном полушарии, можно легко найти на небе по созвездию *Б о л ь ш о й М е д в е д и ц ы*, наиболее приметные звёзды которого составляют фигуру ковша из семи звёзд (рис. 11 и 14). Беря направление на небе по двум крайним звёздам «ковша» в сторону его «отверстия» и отходя по нему на расстояние, примерно вчетверо большее, чем промежуток между этими звёздами, мы и встретим Полярную звезду.

Надо заметить, что в разное время года Большая Медведица бывает по вечерам то ниже Полярной, то выше, то вправо, то влево от неё. Полярная имеет такую же яркость, как и звёзды «ковша», и выделяется среди окружающих её более слабых звёзд. Так как Полярная расположена вблизи полюса мира, то небесный меридиан проходит вблизи неё. Следовательно, если мы найдём на небе Полярную звезду и станем лицом к ней, то прямо перед нами на горизонте будет север, сзади — юг, направо — восток, налево — запад.

Это простейший способ ориентировки по звёздам. Но надо иметь в виду, что Полярная звезда не единственный ориентир на звёздном небе. Многие другие звёзды могут быть путеводителями, и в этом может оказаться необходимость, например, когда северная сторона неба закрыта облаком или вообще не видна в данных условиях. В этом случае надо быть знакомым со звёздным небом, уметь различать на небе те или другие созвездия, знать их

взаимное расположение, когда и в какой стороне неба они бывают видны.

Для приобретения навыка в нахождении созвездий и распознавании отдельных звёзд надо заметить фигуры, образуемые наиболее приметными звёздами, входящими в то или другое созвездие, и расположение их по отношению к соседним созвездиям. Ниже даются некоторые указания для этого, причём отмечается, как и в какое время располагаются отдельные созвездия по отношению к горизонту и его сторонам, чтобы можно было ориентироваться по указанным созвездиям. Помимо этого приложенная в конце книги карта звёздного неба поможет находить созвездия на небе.

Знакомство со звёздным небом следует начинать с околополярных созвездий, которые в наших широтах почти всегда находятся над горизонтом.

Найдя Полярную звезду по Большой Медведице указанным уже способом и рассмотрев слабые звёзды около неё, мы увидим там тоже как бы «ковшик» из семи звёзд, обращённый к Большой Медведице, но гораздо меньшего размера. Эта группа звёзд и называется созвездием Малой Медведицы. Полярная звезда принадлежит к этому созвездию и находится, как говорят, в хвосте М. Медведицы или на конце рукоятки ковша (рис. 14).

Если посмотреть от Полярной в сторону, противоположную Большой Медведице, то обращает на себя внимание созвездие, образующее своими яркими пятью звёздами ломаную линию наподобие буквы М. Это созвездие — Кассиопея. Оно расположено почти симметрично с Б. Медведицей по другую сторону Полярной.

Проследим направление от Кассиопеи к Б. Медведице и проведём мысленно линию через Полярную звезду под прямым углом к этому направлению. На несколько большем расстоянии от Полярной, чем Б. Медведица, мы увидим, с одной стороны, очень яркую звезду *Капеллу* в созвездии *Возничего*, с другой стороны — такую же яркую звезду *Вега* в созвездии *Лиры* (рис. 14). Капелла находится в той области неба, куда обращён ковш

Б. Медведицы, а Вега — в той области, куда обращена рукоятка.

Созвездия, окружающие Полярную, которые указаны на рис. 14, в наших широтах почти всегда бывают над горизонтом в северной половине неба. Но вследствие видимого суточного вращения вся эта картина как бы поворачивается так, что Б. Медведица идёт вперёд своим

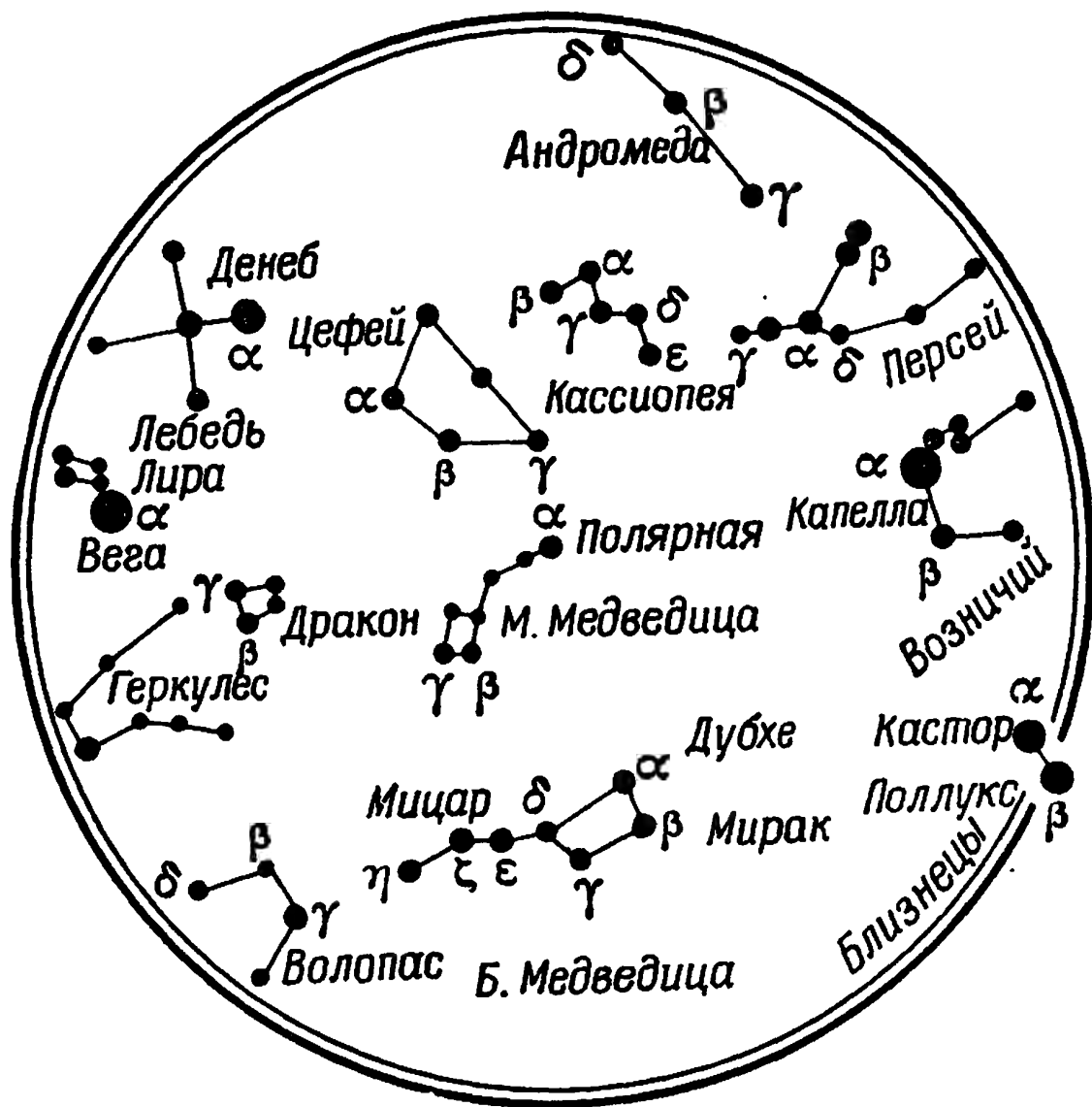


Рис. 14.

«ковшом». Если Б. Медведицу мы видим внизу над горизонтом (как на рис. 14), то Кассиопею найдём высоко над головой, Капеллу — направо, к востоку, а Вегу — налево, к западу. Через 6 час. Б. Медведица перейдёт на правую сторону к востоку, Кассиопея — на левую сторону к западу, Капелла поднимется высоко над головой, а Вега будет у самого горизонта и т. д.

Надо научиться отыскивать на небе и другие звёзды, которые могут понадобиться для ориентировки.

Если мы будем осматривать области неба, расположенные дальше от полюса мира, нам придётся уже повернуться к южной стороне неба. Мы увидим там созвездия, которые вследствие суточного вращения через определённое время будут заходить за горизонт, а с востока при этом будут подниматься новые созвездия. Поэтому в разные часы ночи мы будем видеть на южной стороне неба различные созвездия.

Точно так же, если наблюдать звёздное небо, хотя бы и в один и тот же час, но в разные вечера на протяжении целого года, то перед нами будет различная картина. Здесь уже причиной является не суточное вращение, а годичное движение Земли вокруг Солнца. Ведь звёзды мы видим только по ночам, когда мы обращены в противоположную сторону от Солнца и небо не освещено Солнцем. А обходя вместе с Землёй вокруг Солнца, мы в разное время года будем видеть и различные звёзды в противоположной стороне от Солнца (рис. 15).

Таким образом, вид неба будет различен и в разные часы и в разные дни. Например, те созвездия, которые мы видели по ночам осенью в южной стороне неба, весной мы уже не увидим совсем: они зайдут за горизонт ещё до наступления ночи, и перед нами будут другие созвездия. Вот почему при описании созвездий, расположенных на небе далеко от полюса мира, нам приходится отмечать и то время года, в которое они бывают видны.

В зимние вечера на небе нельзя не заметить яркого красивого созвездия *Ориона*, напоминающего очертания бабочки, бросающегося в глаза своими тремя рядом расположенными звёздами — поясом Ориона в середине большого четырёхугольника (рис. 16). Звёзды, образующие четырёхугольник, очень яркие, три из них имеют собственные названия: *Бетельгейзе*, *Беллатрикс*, *Ригель*. В декабре около полуночи Орион расположен почти над точкой юга, в январе это бывает около 10 час. вечера.

Правее и выше Ориона, между ним и Возничим, расположено созвездие *Тельца*, приметное своей кучкой слабых звёзд под названием *Плеяды*. Между Плеядами и Орионом сияет яркая звезда α Тельца — *Альдебаран*. (Звёзды каждого созвездия древними наблюдате-

лями были обозначены буквами греческого алфавита α , β , γ и т. д.; эти обозначения сохранились до наших дней.)

Левее Ориона и несколько ниже блещет самая яркая звезда всего нашего неба — *Сириус*, входящая в созвездие Большого Пса. Сириус, левая верхняя звезда

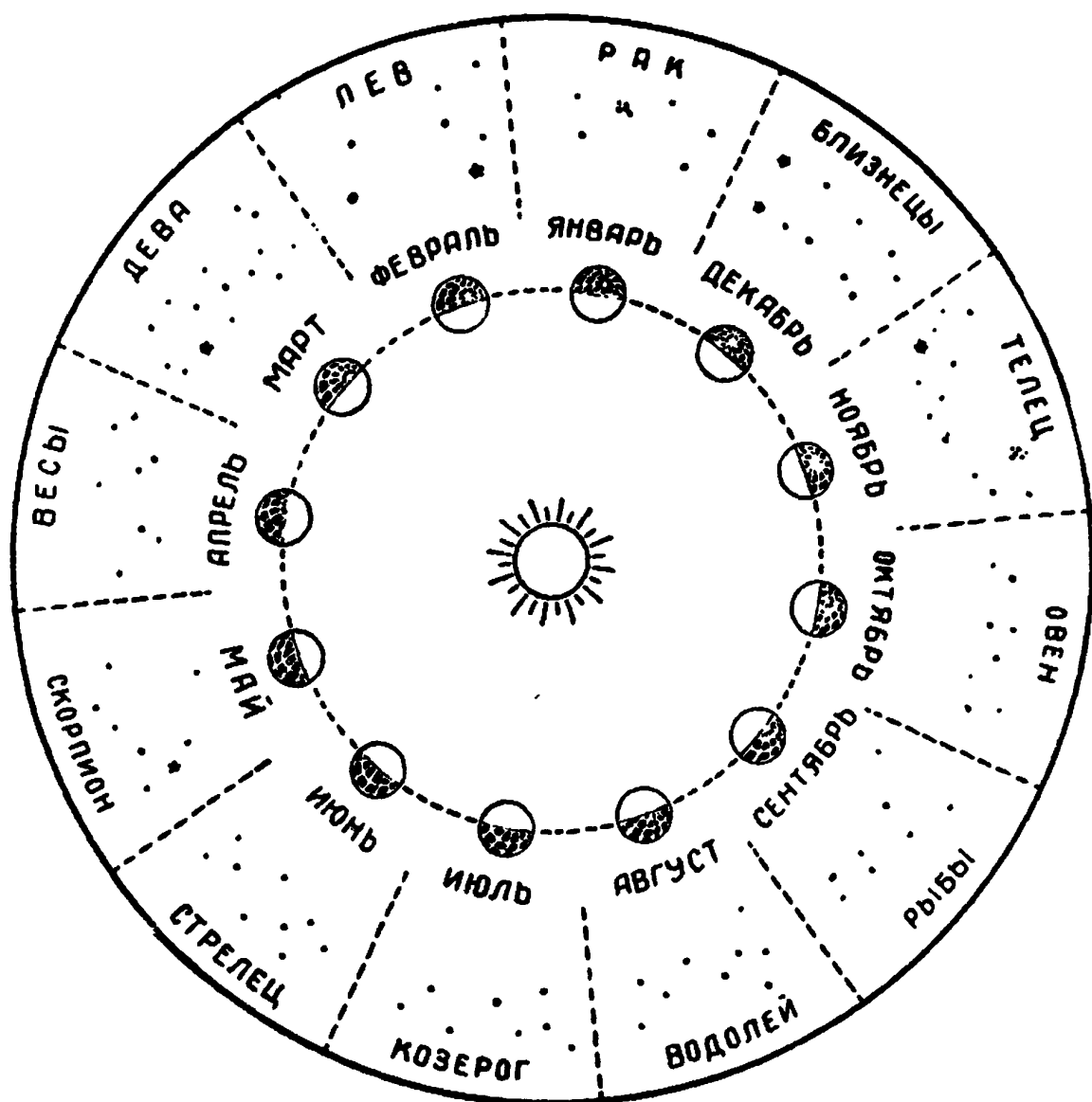
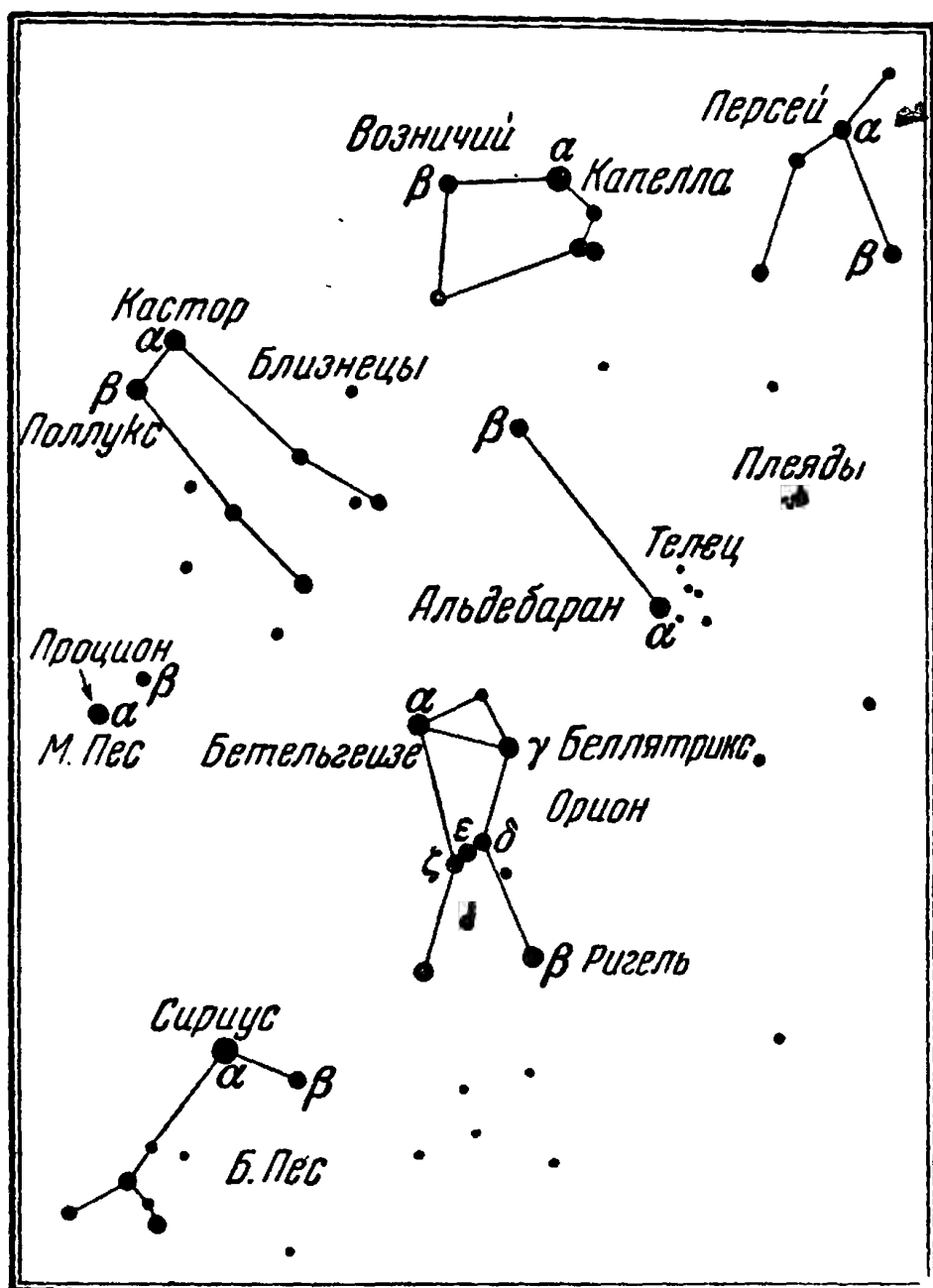


Рис. 15.

Ориона — Бетельгейзе — и яркая звезда *Процион* в созвездии Малого Пса составляют почти равносторонний треугольник. Еще выше Проциона, почти на продолжении линии, соединяющей β и α Ориона, мы видим две яркие, рядом стоящие звезды созвездия Близнецов — *Кастор* и *Поллукс*. Таким образом, вся южная половина зимнего звёздного неба весьма богата яркими звёздами.

Блеск звёзд оценивается звёздными величинами. Чем слабее блеск звёзд, тем больше звёздная величина. Примером звезды первой величины может служить Альдебаран в созвездии Тельца, Полярная же и звёзды

Б. Медведицы слабее и относятся к звёздам второй величины. Такие звёзды, как Капелла, Вега, ещё ярче, чем Альдебаран, и относятся к звёздам нулевой звёздной



- Рис. 16.

величины. Ещё ярче Сириус. Самые слабые звёзды, доступные невооружённому глазу, относятся к шестой звёздной величине.

Весной на южной стороне неба мы находим созвездие Льва (в марте около полуночи оно находится над точкой юга), в котором заметна фигура неправильного четырёхугольника, похожего на трапецию (рис. 17). Его наш взгляд встретит, скользя по небу от Полярной через край ковша Б. Медведицы. Следует отметить яркую звезду α Льва под названием *Регул*. По блеску она близка к звездам первой величины.

Ближе к лету с вечера Лев уже виден склоняющимся к западу, а на южной стороне неба сияет звезда почти нулевой звёздной величины — α В о л о п а с а — *Арктур*; к началу мая она располагается около полуночи над точкой юга. Её легко найти, если проследить глазом по кривой, продолжающей рукоятку «ковша» Б. Медведицы.

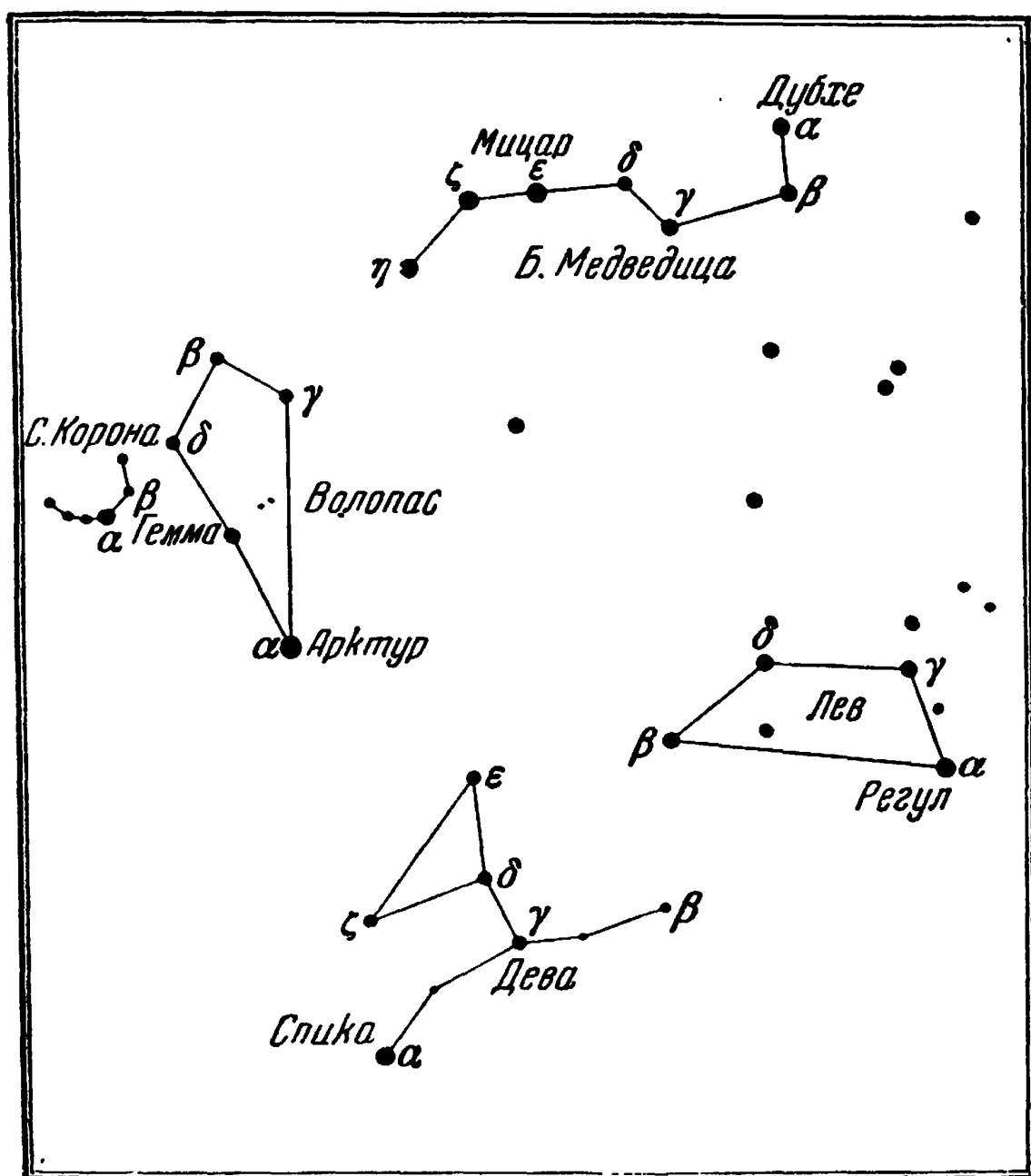


Рис. 17.

Рядом с созвездием Волопаса выделяется своим полукругом небольшое созвездие Северной Корона с яркой звездой — *Геммой*.

В июле-августе около полуночи мы найдём на юге по соседству с Вегой высоко стоящее характерное созвездие Лебедя (рис. 18) в виде большого креста, напоминающего летящую птицу, с яркой звездой *Денеб*. Под ним —

созвездие О р л а, бросающееся в глаза своими рядом стоящими тремя звёздами, средняя из которых ярче всех; она называется *Альтаир*. По этим созвездиям и далее через Кассиопею, Возничий, Близнецы проходит слабо светящаяся полоса, называемая Млечным Путём.

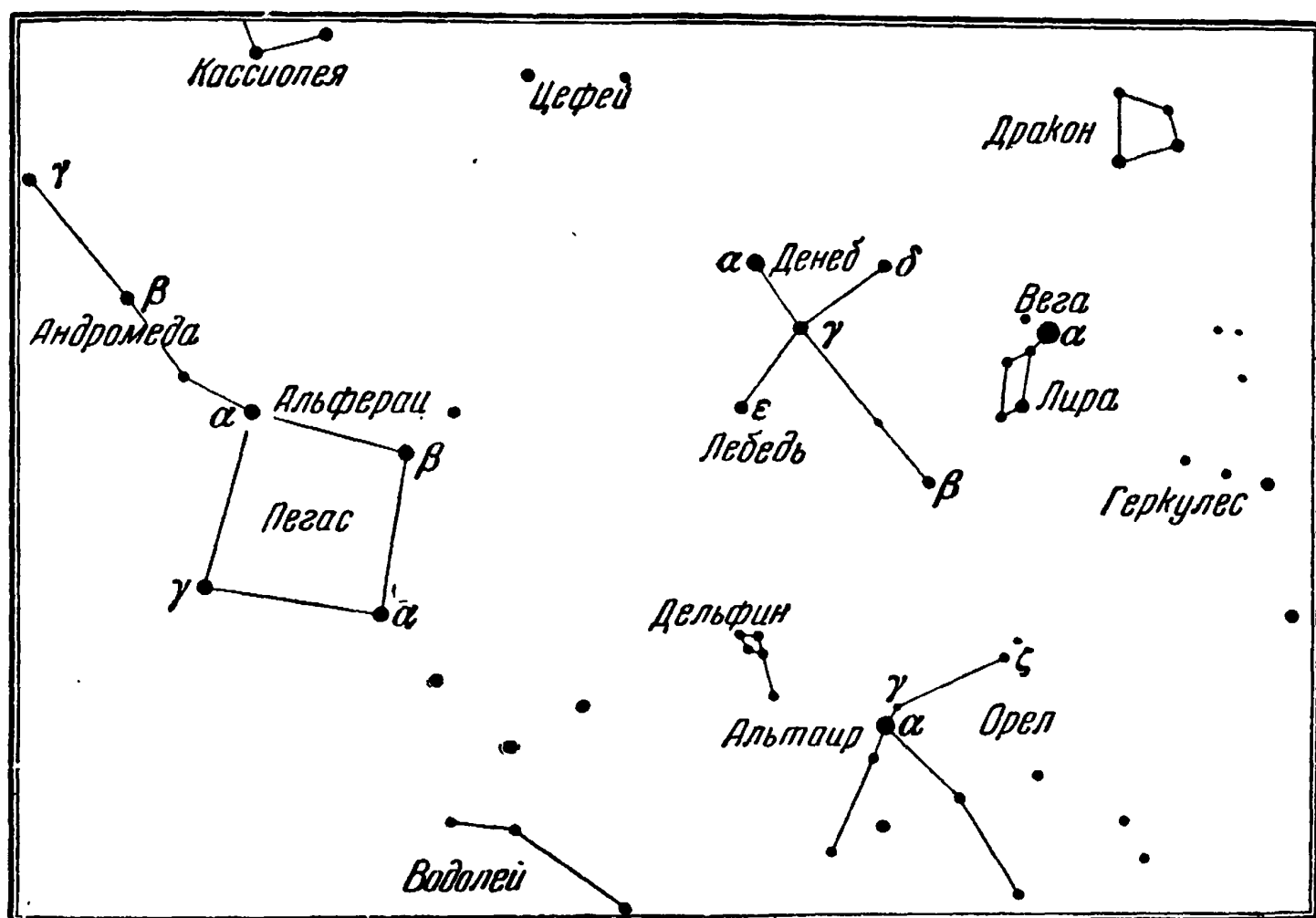


Рис. 18.

Южная сторона осеннего звёздного неба занята вытянувшимися в одну линию и расположенными почти на одинаковом расстоянии друг от друга звёздами созвездия *Андромеды* (рис. 18). Звезда α Андромеды — *Альферац* — вместе с тремя звёздами созвездия *Пегаса* составляет большого размера четырёхугольник, почти квадрат. С другой стороны от Андромеды (к востоку) сверкает своей цепочкой звёзд созвездие *Персей* (виден на рис. 16). Яркая звезда α Персея как бы составляет продолжение Андромеды.

Квадрат Пегаса располагается над точкой юга около полуночи в сентябре, а в ноябре приходит на это место над горизонтом Телец с Плеядами, о которых уже была речь.

Мы указали здесь расположение определённых созвездий около полуночи в разные месяцы. Надо заметить, что все звёзды в течение года сдвигаются в сторону запада. Через месяц те созвездия, которые находились над точкой юга в полночь, располагаются над той же точкой на два часа раньше, через полмесяца — на час раньше, через два месяца — на четыре часа раньше и т. д. Наоборот, в предыдущем месяце те же созвездия около полуночи находились ещё в юго-восточной стороне и поднимались над точкой юга двумя часами позднее полуночи.

Пользуясь всяким случаем, когда небо ясно, следует с помощью карты и руководствуясь сделанными выше указаниями, научиться быстро и безошибочно находить главнейшие созвездия и отдельные яркие звёзды. В особенности нужно обратить внимание на те звёзды, которыми чаще всего пользуются для ориентировки в практике аэронавигации. Приведем их отдельно с более детальными данными (см. звёздную карту в конце книги).

Полярная (α М. Медведицы) — второй звёздной величины, видна всегда почти на одном и том же месте в северной стороне неба, находится на продолжении края ковша Б. Медведицы или на перпендикуляре, опущенном из средней звезды Кассиопеи (γ) на линию, соединяющую звёзды β и δ Кассиопеи.

Капелла (α Возничего) — нулевой звёздной величины, желтоватого цвета; видна высоко над горизонтом в первую половину зимы на продолжении линии, соединяющей η и ζ Б. Медведицы, в сторону её «ковша»; по соседству с ней в направлении Кассиопеи находится Персей, а с противоположной стороны созвездие Близнецов, которое располагается над точкой юга в декабре около полуночи.

Вега (α Лиры) — нулевой звёздной величины, белого цвета. Высоко над горизонтом видна летом в первую половину ночи. Находится приблизительно на продолжении линии, соединяющей γ и ϵ Б. Медведицы, в сторону рукоятки ковша Б. Медведицы; около неё — маленький четырехугольник из слабых звёзд. По соседству с ней расположено созвездие Лебедя, видимое на юге в начале июля около полуночи.

Альдебаран (α Тельца) — первой звёздной величины, красноватого цвета; при видимом суточном вращении ей предшествует звёздное скопление Плеяд, а за ней следует особенно бросающийся в глаза своей характерной фигурой Орион. Зимой Альдебаран поднимается достаточно высоко над горизонтом в первую половину ночи.

Процион (α М. Пса) — несколько ярче первой величины, белого цвета; находится по другую сторону от Ориона по отношению к Альдебарану в левой верхней вершине равностороннего треугольника, составленного ярким Сириусом и Бетельгейзе (α Ориона); над точкой юга бывает в январе около полуночи.

Регул (α Льва) — первой звёздной величины, голубоватая; находится в правой нижней вершине четырёхугольника — трапеции созвездия Льва; поднимается над горизонтом в весенние месяцы, бывает над точкой юга в марте около полуночи.

Арктур (α Волопаса) — нулевой звёздной величины, оранжевого цвета; находится на продолжении кривой ручки ковша Б. Медведицы, по соседству с Северной Короной; видна высоко над горизонтом к концу весны и в начале лета, а над точкой юга — в мае, около полуночи.

Альтаир (α Орла) — первой звёздной величины, белого цвета; средняя из трёх рядом стоящих звёздочек созвездия Орла, расположенного ниже Лиры и Лебеда; над точкой юга бывает в конце июля около полуночи.

Альферац (α Андромеды) — второй звёздной величины, белая; находится в направлении, идущем от Полярной через β Кассиопеи, в левой верхней вершине квадрата Пегаса, расположенного между Кассиопеей и Лебедем, несколько ниже их; поднимается сравнительно высоко осенью, бывает над точкой юга в сентябре около полуночи.

ГЛАВА II

НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ И ЗВЁЗДНЫЕ КАРТЫ

Рассмотренные в первой главе способы ориентировки являются весьма приближёнными и пригодны только для грубой ориентировки на местности. Когда же требуется найти более точно направление или положение на Земле данного места, то необходимо ознакомиться и с более точными способами определения положений светил на небесной сфере. Для этого введены так называемые небесные координаты, аналогичные географическим координатам на земном шаре. Так же как и там, координаты измеряются в градусах дуги или угла.

§ 4. Горизонтальная система небесных координат

Координаты на небесной сфере могут быть построены по отношению к истинному горизонту и зениту. Прежде всего мы можем измерить высоту светила над горизонтом. Под высотой разумеют угол, образуемый направлением на светило с плоскостью горизонта. Он измеряется дугой вертикального круга (круга высоты, проходящего на небесной сфере через зенит и светило) от горизонта до светила. Обозначается высота буквой h (рис. 19). Вместо высоты можно пользоваться зенитным расстоянием, обозначаемым буквой z . Это — угол между вертикальным направлением и направлением на светило; он также измеряется дугой круга высоты. Так как от горизонта до зенита 90° , то высота и зенитное расстояние в сумме составляют 90° :

$$h + z = 90^\circ.$$

Значит, если известна высота, то мы знаем и зенитное

расстояние, и обратно. Но одной высотой или зенитным расстоянием положение светила ещё не определяется полностью, так как на одной и той же высоте вокруг нас может быть много светил. Надо ещё указать, над какой точкой горизонта видно светило или в какой точке круг высоты пересекает горизонт. Положение этой точки опре-

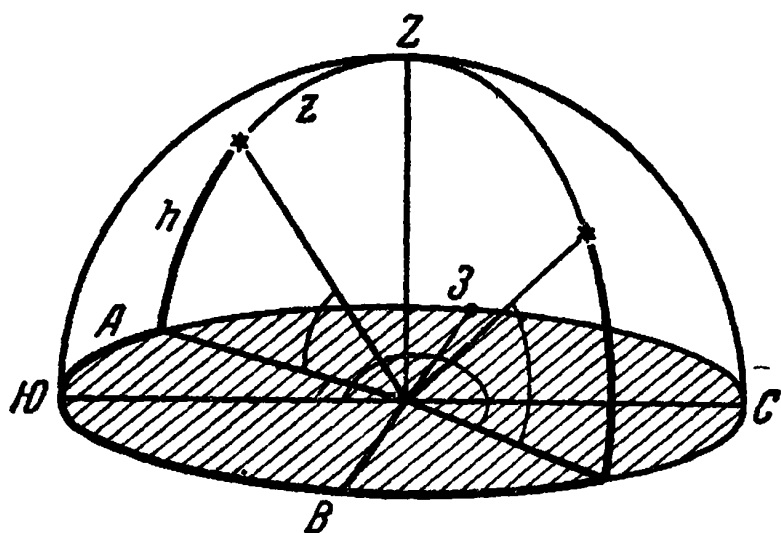


Рис. 19.

деляют дугой горизонта, отсчитываемой от точки юга. Дуга эта называется азимутом и обозначается буквой A . В астрономии отсчёт ведётся в сторону суточного вращения, т. е. к западу; в геодезии, а также в мореходной и авиационной астрономии отсчёт азимута часто ведётся от точки севера к востоку.

Азимутом и высотой или зенитным расстоянием (A , h или z) определяется положение светил в так называемой *горизонтальной системе координат* (рис. 19).

Примеры:

1) В какой стороне неба надо искать звезду, имеющую в данный момент координаты: $A = 135^\circ$, $h = 45^\circ$?

Повернувшись от точки юга вдоль горизонта на 135° в сторону запада, мы найдём, что круг высоты, проходящий через данную звезду, пересечёт горизонт в точке, лежащей посередине между западом и севером. Искомую звезду мы увидим на этом круге высоты, на расстоянии в 45° над горизонтом, т. е. посередине между горизонтом и зенитом.

2) Каковы горизонтальные координаты восходящего Солнца 21 марта?

Солнце 21 марта восходит в точке востока. Следовательно, искомый азимут Солнца в данный момент есть азимут точки востока; он равен 270° . А так как Солнце в это время на горизонте, то высота его равна нулю. Ответ: $A = 270^\circ$, $h = 0$, а $z = 90^\circ$.

Особенностью горизонтальной системы координат является то, что высота и азимут светила всё время изменяются вследствие суточного вращения. Каждое светило, описывая в течение суток некоторый круг, имеет наибольшую высоту в верхней кульминации. До этого высота светила увеличивается, а потом уменьшается. Таким образом, горизонтальные координаты светила имеют определённое значение только для некоторого момента времени.

При непосредственном наблюдении светил мы имеем перед собой горизонт и точку юга или севера, а потому определять положение светил на небесной сфере по высоте и азимуту наиболее естественно и удобно. Но если нам нужно изобразить положение звёзд на карте или составить список звёзд с указанием положений их на небе, то горизонтальная система координат для этого непригодна вследствие постоянного изменения высоты и азимута с суточным вращением. Поэтому введена другая система небесных координат, подобная системе географических координат, по которым строятся географические карты.

§ 5. Географические координаты

Вспомним систему географических координат. Земля наша приблизительно представляет собой шар, на поверхности которого, как на сфере, расположены те или другие пункты. Мы представляем себе ось вращения земного шара как прямую линию, соединяющую две противоположные точки на Земле, остающиеся при его вращении неподвижными. Такие точки мы называем *земными полюсами*: один — северный в нашем полушарии, другой (противоположный) — южный. Проведём мысленно через центр Земли плоскость, перпендикулярную к земной оси. Эта плоскость пересечёт земную поверхность по большому кругу, проходящему посередине между полюсами, — всюду на одинаковом расстоянии от них. Круг этот называется *земным экватором*. Он делит Землю на два полушария: северное, где мы живём, и южное. От экватора условились отсчитывать расстояние до любого пункта (рис. 20), а так как Земля — шар, то расстояние

измеряется в градусах дуги окружности или соответствующего угла при центре Земли.

Круг этот получится, если представить себе пересечение Земли плоскостью, проходящей через земную ось и данный пункт. Такой круг называется *земным меридианом*. Полный круг делится на 360° (градус делится на

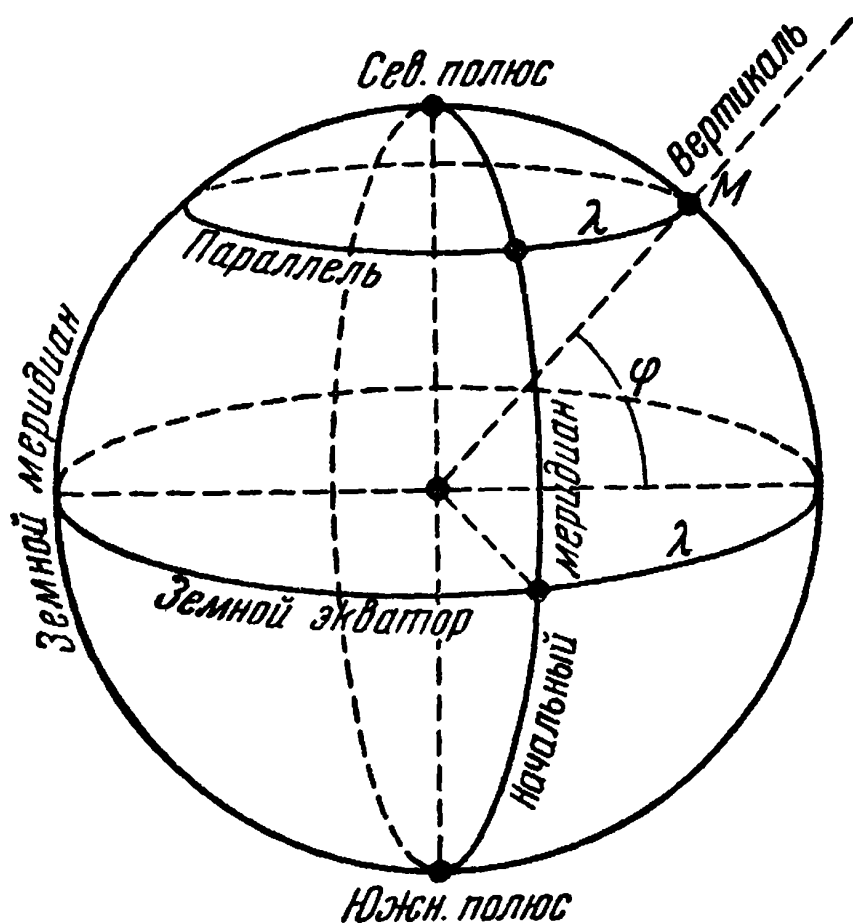


Рис. 20.

шестьдесят минут — $60'$, минута на шестьдесят секунд — $60''$). От экватора до полюса по меридиану — четверть круга, т. е. 90° . Расстояние в градусах по меридиану от экватора до данного пункта измеряет *широту места* и обозначается греческой буквой φ . Широту места можно определить как угол между вертикальным направлением в данном месте и плоскостью экватора. Различают северную и южную широты, смотря по тому, в каком полушарии находится данное место. Иногда северную широту пишут со знаком $+$, а южную со знаком $-$. Например, Москва имеет широту $55^\circ 45' \text{ С}$, или $+55^\circ 45'$, и отстоит на $34^\circ 15'$ от северного полюса. Южный тропик (тропик Козерога) лежит на широте $23^\circ 27' \text{ Ю}$, или $-23^\circ 27'$.

Но на широте, положим, $55^{\circ}45'$ лежит не одна Москва, а все те места земной поверхности, которые находятся на одинаковом расстоянии от экватора, или, как говорят, лежат на одной *параллели*.

Чтобы отличить два разных места, лежащих на одной и той же параллели, друг от друга, нужно отмечать расстояния их от одного и того же меридиана. Для этого условились один из земных меридианов считать за начальный, или главный. По международному соглашению за начальный принят меридиан, проходящий через астрономическую обсерваторию в Гриниче, близ Лондона. Расстояние в градусах от начального, или гриничского, меридиана по экватору или параллели до данного пункта называется *долготой места* и обозначается буквой λ . Долгота отсчитывается от 0 до 180° к востоку или западу от начального меридиана и различается *восточная* и *западная*. Восточная долгота обозначается буквой В, западная — буквой З. Например, долгота Москвы $37^{\circ}34'$ В.

Широта и долгота места составляют *географическую систему координат*. Положение места на поверхности Земли вполне определяется его географическими координатами: широтой и долготой.

Для составления географических карт строится сетка линий, состоящая из меридианов и параллелей, проведённых через определённое число градусов. Большую трудность для изображения поверхности Земли представляет то, что карта чертится на плоском листе бумаги, а земная поверхность — шаровая, которая не развёртывается на плоскости без складок, разрывов или растяжений.

Надо заметить, что размеры земного шара так велики (окружность большого круга равна 40 000 км), что равнина на Земле, как и морская гладь, представляется нашему глазу плоской. Сравнительно малые участки земной поверхности, размером в несколько квадратных километров, можно принять за плоскость, и в таком случае перенесение на бумагу в определённом масштабе (например, 1 см вместо 1 м или 1 см вместо 10 м) действительного расположения пунктов даёт нам план местности — её уменьшенное подобное изображение.

При изображении более обширных областей надо соответствующую часть шаровой поверхности Земли проектировать на плоскость, благодаря чему получаются искажения взаимных расстояний точек шаровой поверхности на плоскости, так что невозможно построить карту, изображающую большую часть земной поверхности, без искажений масштаба.

Существуют различные способы изображения земной поверхности на плоской карте и, соответственно, разные картографические проекции. Каждая карта имеет свою градусную сетку, по краям которой наносятся цифры, обозначающие число градусов широты и долготы.

Прежде чем пользоваться картой, необходимо хорошенько рассмотреть её сетку с помеченными на краях цифрами широт и долгот, масштаб и условные обозначения. Надо заметить, что на некоторых старых картах у нас долготы показаны не от гриничского, а от пулковского меридиана. Долгота Пулкова относительно Гринича равна $30^{\circ}20'$, долгота Москвы от Пулкова $7^{\circ}14'$, а от Гринича $7^{\circ}14' + 30^{\circ}20' = 37^{\circ}34'$.

Внизу карты обычно помещается масштаб в виде линейки с делениями, который указывает, сколько километров или вёрст содержится в одном или нескольких делениях, соответствующих такому же расстоянию на карте. Например, 10 км в 1 сантиметре (миллионка), 25 вёрст в дюйме (двадцатипятивёрстка) и пр. Тут же ставится дробь, показывающая, какую долю действительного расстояния составляет расстояние на карте, или, что то же, во сколько раз уменьшено действительное расстояние.

Зная разность широт двух мест, лежащих на одном меридиане, можно вычислить расстояние между ними в километрах. В самом деле, измерения на Земле показали, что длина дуги земного меридиана в 1° приблизительно равна 111 км. Значит, если два пункта имеют одинаковую долготу, т. е. лежат на одном меридиане, то расстояние между ними получится, если 111 км умножить на разность их широт в градусах.

Например, Курск и Харьков имеют приблизительно одинаковую долготу: $36\frac{1}{4}^{\circ}$ В; широта Курска $51^{\circ}44'$ С,

широта Харькова $50^{\circ}0'$ С. Разность широт Курска и Харькова

$$51^{\circ}44' - 50^{\circ}0' = 1^{\circ}44' = 1^{\circ},7.$$

Расстояние по прямому направлению (для самолёта) получится:

$$111 \text{ км} \cdot 1,7 = 190 \text{ км} \text{ (круглым числом).}$$

Точные измерения в различных местах Земли показали, что дуга меридиана в 1° не везде одинакова, а изменяется с широтой, причём оказывается длиннее к полюсу и короче к экватору (вследствие сжатия). Но это изменение сравнительно невелико: от 110,6 км у экватора до 111,7 км у полюса. Разница составляет всего только около 1 км. Поэтому при всех приближённых расчётах мы вполне можем принимать Землю за шар со средним радиусом 6370 км и длиной дуги 1° меридиана, равной 111 км.

§ 6. Экваториальная система небесных координат

Подобно географической карте можно построить и звёздную карту, которая даст расположение созвездий на небесной сфере. Это и делается при помощи системы координат, подобной географической и называемой *экваториальной*. Как на земном шаре мы воображаем круг — экватор, лежащий в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, так и на небесной сфере мы представляем себе небесный экватор (рис. 21). Этот круг образуется в пересечении небесной сферы плоскостью, проходящей через глаз наблюдателя, т. е. центр сферы, перпендикулярно к оси мира. При видимом вращении небесной сферы все светила описывают круги, параллельные экватору. Подобно земным меридианам мы можем вообразить на небесной сфере круги, проходящие через полюс мира перпендикулярно к экватору. Таким образом, мы получим сетку на небесной сфере, подобную той, какую мы имеем на земном глобусе. Круги на небесной сфере, перпендикулярные к экватору и проходящие через полюс мира, называются *кругами склонений*. Каждая звезда имеет свой круг склонения.

Та небесная координата, которая показывает, как далеко звезда расположена от экватора по кругу склонения, называется *склонением* и обозначается греческой буквой δ . Склонение измеряется углом (в градусах) между направлением к звезде и плоскостью экватора или (рис. 21) дугой большого круга, проходящего через звезду

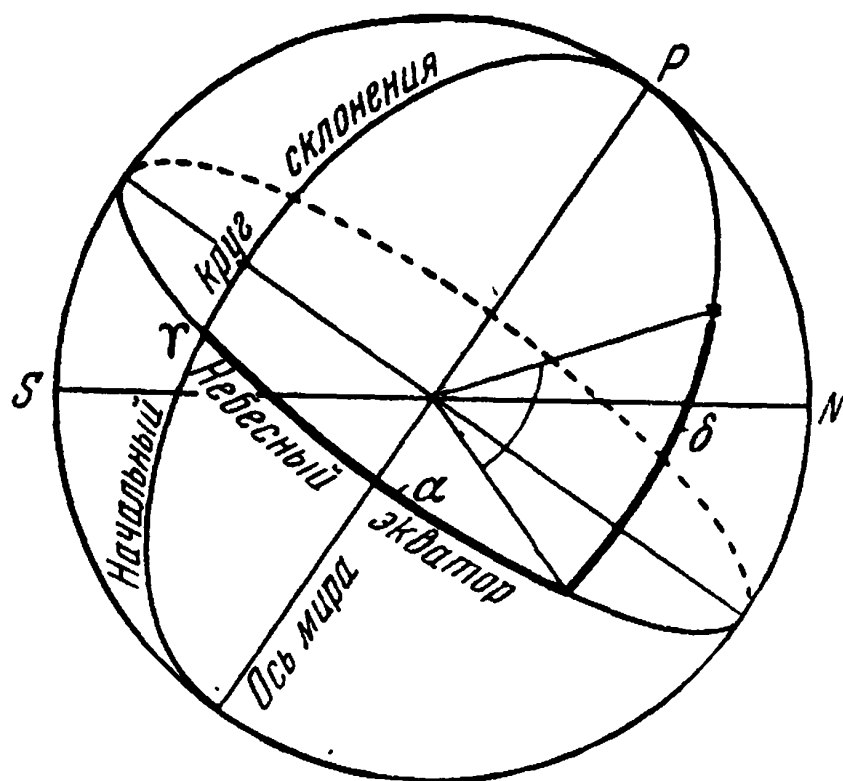


Рис. 21.

и полюс мира, от экватора до звезды. Так как экватор делит небесную сферу на два небесных полушария — северное и южное, то различают склонение северное, или положительное, — для звёзд в северном небесном полушарии и южное, или отрицательное, — для звёзд в южном небесном полушарии.

Но одного склонения для полного определения положения светила на небесной сфере недостаточно: много звёзд, расположенных по параллели или по кругу на одинаковом расстоянии от экватора, будут иметь одинаковое склонение. Как на земном шаре для отсчёта долгот условились один земной меридиан принимать за начальный, так на небесной сфере условились начальным считать круг склонений, проходящий через так называемую точку весеннего равноденствия на экваторе (она обозначается

знаком γ). В этой точке бывает центр Солнца в день весеннего равноденствия (21 марта). От неё до точки пересечения с экватором круга склонений, проходящего через светило, и отсчитывается вторая экваториальная координата — *прямое восхождение*, которая обозначается греческой буквой α . Прямое восхождение всегда считается

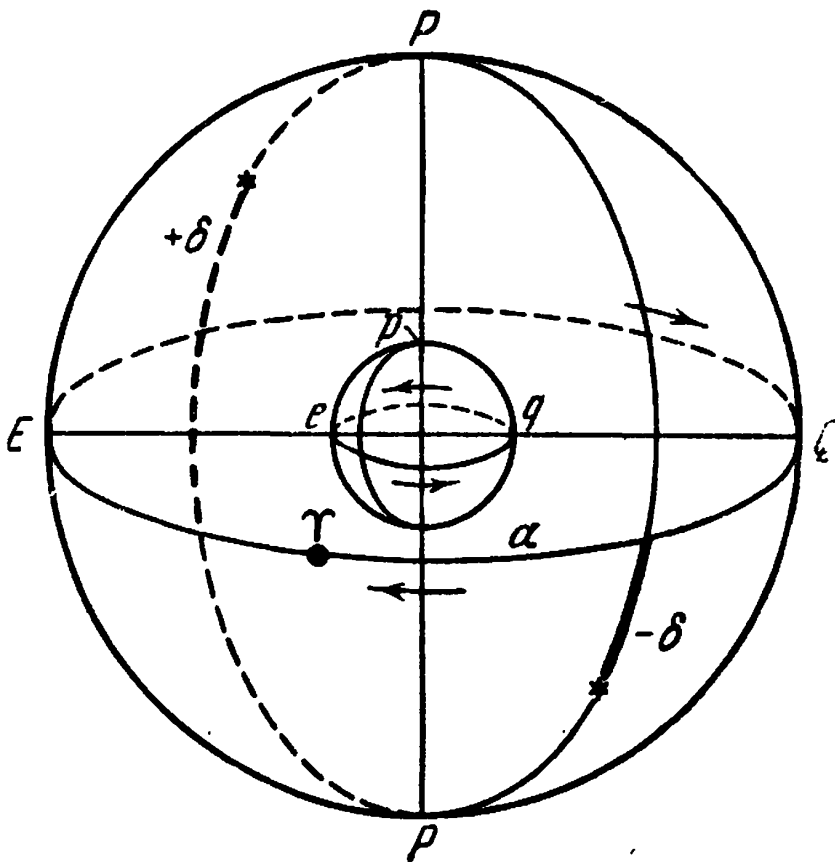


Рис. 22.

в сторону, противоположную видимому суточному вращению, т. е. от запада к востоку, и изменяется от 0 до 360° . Но большей частью прямое восхождение выражают в часах, принимая во внимание, что полный круг (360°) соответствует 24 час., а 1 час соответствует 15° . А так как 1 час делится на 60 мин. и 1° делится на 60 дуговых минут, то 1 мин. соответствует $15'$ и точно так же 1 сек. соответствует $15''$.

Экваториальную систему небесных координат можно лучше себе уяснить по аналогии с географической, если представить себе центр небесной сферы в центре Земли и небесную сферу окружающую всю Землю (рис. 22).

Так как при суточном вращении неба взаимное расположение звёзд не меняется, а ось мира и экватор при

этом занимают неизменное положение, то склонения и прямые восхождения всех звёзд также не меняются. Поэтому каждая звезда имеет своё определённое склонение и прямое восхождение. Так же как составляются списки городов с указанием их широт и долгот на Земле, можно составить список звёзд с их названиями и указанием их склонений и прямых восхождений (см. Приложение IV, стр. 152). Такой список называется *каталогом звёзд*. По этим δ и α составляют карту, которой можно пользоваться в разное время и в разных местах Земли.

В ряде случаев, например в вопросах измерения времени, удобно вторую экваториальную координату отсчитывать по экватору не от точки весеннего равноденствия, а от точки пересечения экватора с меридианом места наблюдения в южной его стороне и притом не против видимого суточного вращения, а в сторону его, т. е. к западу. Такая координата называется *часовым углом* и обозначается буквой t . Часовой угол можно определить как двугранный угол между плоскостью меридиана и плоскостью круга склонения светила. Надо заметить, что часовой угол меняется с течением времени при суточном вращении. В момент верхней кульминации светила он равен нулю и за сутки возрастает до 360° . Часовые углы, как и прямые восхождения, измеряются обычно не в градусах, а в часах.

Звёздное небо обычно изображается на карте так, что полюс мира находится в её центре. Надо представить в полюсе мира плоскость, параллельную экватору, а глаз наблюдателя — в удалённой точке в направлении оси мира (в противоположном полюсе). На такой карте небесный экватор представляется окружностью с центром в полюсе мира, а круги склонений — в виде прямых линий, расходящихся лучами от полюса мира. Здесь же могут быть проведены круги, параллельные экватору, соответственно определённым значениям склонения как в северном, так и в южном полушарии.

В приложении мы даём подвижную карту северного неба с северным полюсом в центре. На ней мы видим и часть южного небесного полушария, по другую сторону

экватора, т. е. звёзды с отрицательным склонением. Экватор выделяется из всех других концентрических окружностей тем, что на нём стоит 0° там, где находится точка весеннего равноденствия. Она лежит в созвездии Рыб. От неё мы и отсчитываем прямые восхождения звёзд. На круге склонения, проходящем через точку весеннего равноденствия, поставлены цифры склонений через каждые 30° . Этот круг, как видно на карте, проходит от Полярной звезды через звёзды β Кассиопеи и α Андромеды. По этим звёздам его можно приблизительно наметить глазом на небесной сфере.

На наружном круге поставлены цифры прямых восхождений через каждые 2 часа.

Пользуясь такой картой, мы можем найти приближённые экваториальные координаты δ и α любой звезды, нанесённой на карту.

Например, найдём на карте Капеллу (α Возничего). Она лежит между кругами склонения, помеченными на внешнем круге цифрами. Если провести линию от центра карты (полюса) к звезде, то продолжение её пересечёт внешний круг ближе к цифре 6, чем к 4. Прямое восхождение Капеллы $\alpha = 5$ ч. 12 м. Капелла лежит приблизительно посередине между параллельными кругами, имеющими склонения 30 и 60° ; значит, её склонение около 45° .

Таким же образом найдём координаты звезды Альтаир (α Орла): $\alpha = 19$ ч. 50 м., $\delta = +10^\circ$. Координаты самой яркой звезды нашего неба — Сириуса (α Б. Пса): $\alpha = 6$ ч. 40 м., $\delta = -17^\circ$.

Описанная карта даёт общий вид звёздного неба и относительное расположение созвездий. При сравнении её со звёздным небом следует расположить её над собой так, чтобы полюс мира был в том направлении, по которому мы видим на небе Полярную звезду. Потом нужно повернуть её вокруг полюса так, чтобы какое-нибудь заметное созвездие на карте и на небе было приблизительно одинаково расположено. Правда, очертания созвездий, расположенных вдали от полюса, искажены вследствие проектирования сферы на плоскость, но это искажение не настолько значительно, чтобы затруднить

отождествление созвездий, изображённых на карте, с созвездиями, видимыми на небе. Для получения более детальных карт небесная сфера может быть разделена на участки, причём для каждого участка вычерчивается отдельная карта. Все эти карты вместе составляют звёздный атлас.

На карте нельзя изображать для сколько-нибудь продолжительного промежутка времени Солнце, Луну, планеты, так как они меняют своё положение среди звёзд, и нужно знать склонение и прямое восхождение каждого из этих светил в данный момент для того, чтобы отметить его положение на карте. Эти координаты даются в астрономических календарях.

Можно приблизительно наметить положение Солнца на карте в разное время года. Для этого надо уяснить себе, что Земля одновременно с суточным вращением вокруг своей оси движется вокруг Солнца, делая полный оборот в течение года. Вследствие этого обращения нам кажется, что Солнце медленно движется по небу в течение года, переходя из созвездия в созвездие в сторону, противоположную суточному вращению, т. е. с запада на восток (см. рис. 15). Тот круг на небесной сфере, по которому Солнце как бы перемещается день за днём, делая полный оборот за год, называется *эклиптикой*.

Эклиптика расположена в плоскости, составляющей с плоскостью экватора угол $23^{\circ}27'$, или круглым числом $23\frac{1}{2}^{\circ}$. Плоскость эклиптики и есть та плоскость, в которой Земля движется в пространстве вокруг Солнца. Эклиптика изображена на карте в виде круга, пересекающего экватор и параллели. За сутки Солнце перемещается к востоку почти на 1° или на двойной диаметр своего диска.

Надо заметить, что в день весеннего равноденствия, 21 марта, Солнце находится в точке, где эклиптика пересекается с экватором в созвездии Рыб. Пользуясь этим, можно приблизительно рассчитать положение Солнца на любой день.

Пример. В каком созвездии находится Солнце 1 сентября и каковы его экваториальные координаты в это время (приблизительно)?

Найдя на карте нулевую точку на эклиптике в созвездии Рыб, высчитав число месяцев и дней, протекших от 21 марта до 1 сентября, и принимая во внимание, что Солнце перемещается по прямому восхождению на 2 часа в месяц и на 4 минуты в день, получаем, что Солнце за 5 месяцев и 10 дней переместилось на 10 ч. 40 м. Точка эклиптики, соответствующая прямому восхождению 10 ч. 40 м., лежит в созвездии Льва и имеет склонение около $7-8^\circ$.

ГЛАВА III

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ И ПРОВЕРКА ЧАСОВ

§ 7. Звёздное время

Едва ли нужно много говорить о том, какое важное значение имеет знакомство со способами измерения времени. Человек может составить себе понятие о протекшем времени, только наблюдая то или иное движение. На этом принципе построены наши современные часы, древние водяные, песочные и другие часы. Но все эти способы и самые единицы измерения времени связаны с основными астрономическими явлениями, которые человек наблюдал ещё на первой стадии своего развития в постоянно повторяющейся смене дня и ночи, а затем и времён года.

Для измерения времени служит нам вращение Земли вокруг своей оси, вызывающее смену дня и ночи, и видимое суточное движение звёзд. Вращение Земли происходит равномерно, с постоянным периодом. Участвуя в этом вращении, мы его не замечаем, но вместе с нами вращаются наш меридиан и наш горизонт. Мы же наблюдаем, как меняется по отношению к ним положение светил. Звёзды одна за другой проходят меридиан, двигаясь с востока на запад. По этому видимому прохождению звёзд и можно измерять время.

Промежуток времени между последовательными верхними кульминациями одной и той же звезды, очевидно, равен времени одного оборота Земли вокруг оси. Так мы подходим к определению звёздных суток. Но следим мы за движением не звезды, а точки весеннего равноденствия, занимающей определённое положение среди звёзд.

Звёздными сутками называют промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия.

За начало звёздных суток принимается момент, когда часовой угол точки весеннего равноденствия равен нулю. В таком случае звёздное время в любой момент будет измеряться часовым углом точки весеннего равноденствия (на рис. 23 дуга $M\Upsilon$). С другой стороны, если в тот же момент в верхней кульминации находится какая-нибудь звезда (K на рис. 23), то эта же дуга ΥM представляет собой прямое восхождение α звезды, которое мы также условились измерять в часах.

Таким образом, чтобы узнать звёздное время, нет надобности искать на небе точку весеннего равноденствия, а нужно посмотреть, какая звезда кульминирует в этот момент. Взяв из каталога её прямое восхождение α , мы тем самым определим точно звёздное время в данный момент и сможем проверить часы. Из рис. 24 ясно также, что в любой момент времени, когда звезда K не в меридиане, $s = \alpha + t$, где s — звёздное время в этот момент, α — прямое восхождение некоторой звезды, а t — её часовой угол в момент наблюдения.

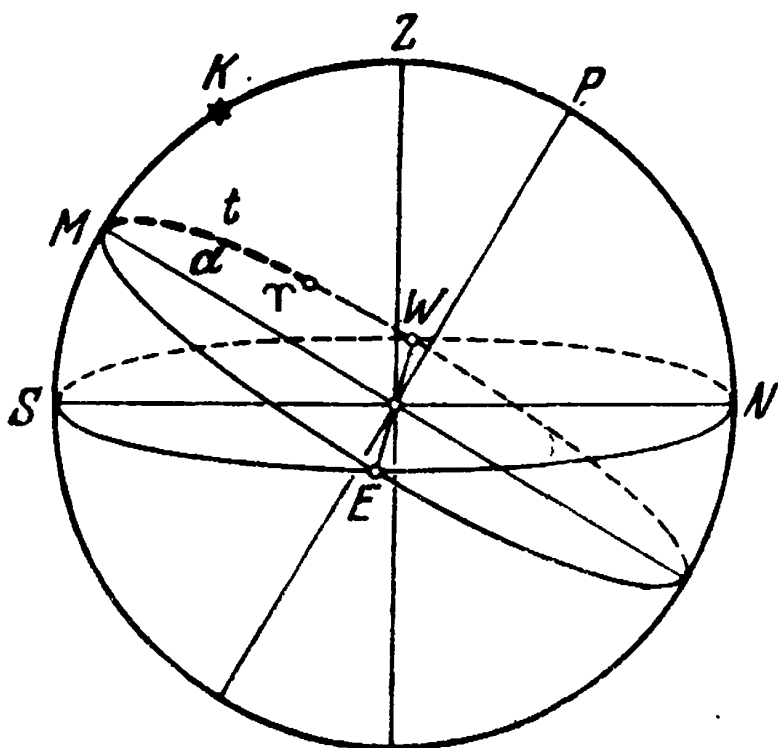


Рис. 23.

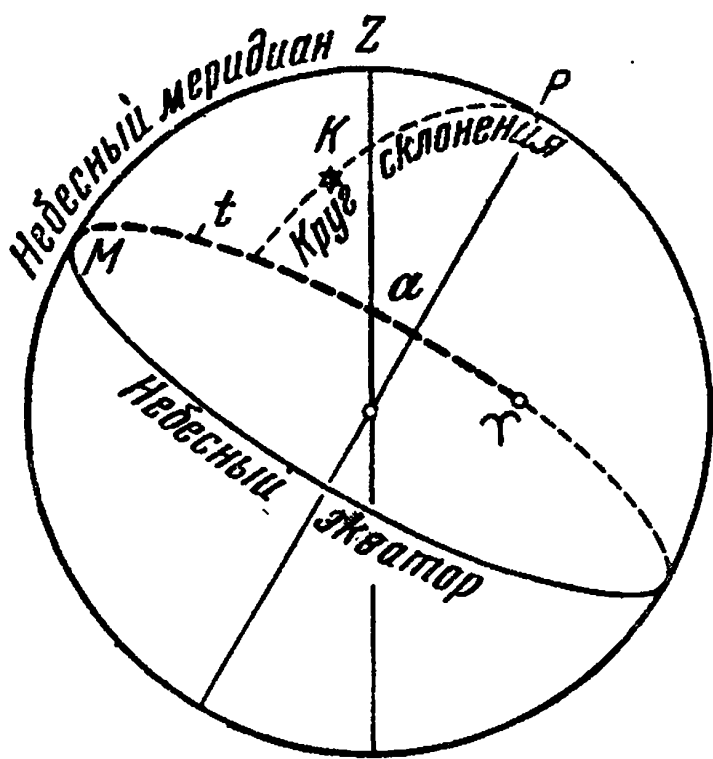


Рис. 24.

Точное время на астрономических обсерваториях определяется по наблюдениям звёзд, проходящих через меридиан. Для этого там имеется специальный инструмент, устанавливаемый так, чтобы его труба, вращаясь около горизонтальной оси, оставалась всё время в плоскости

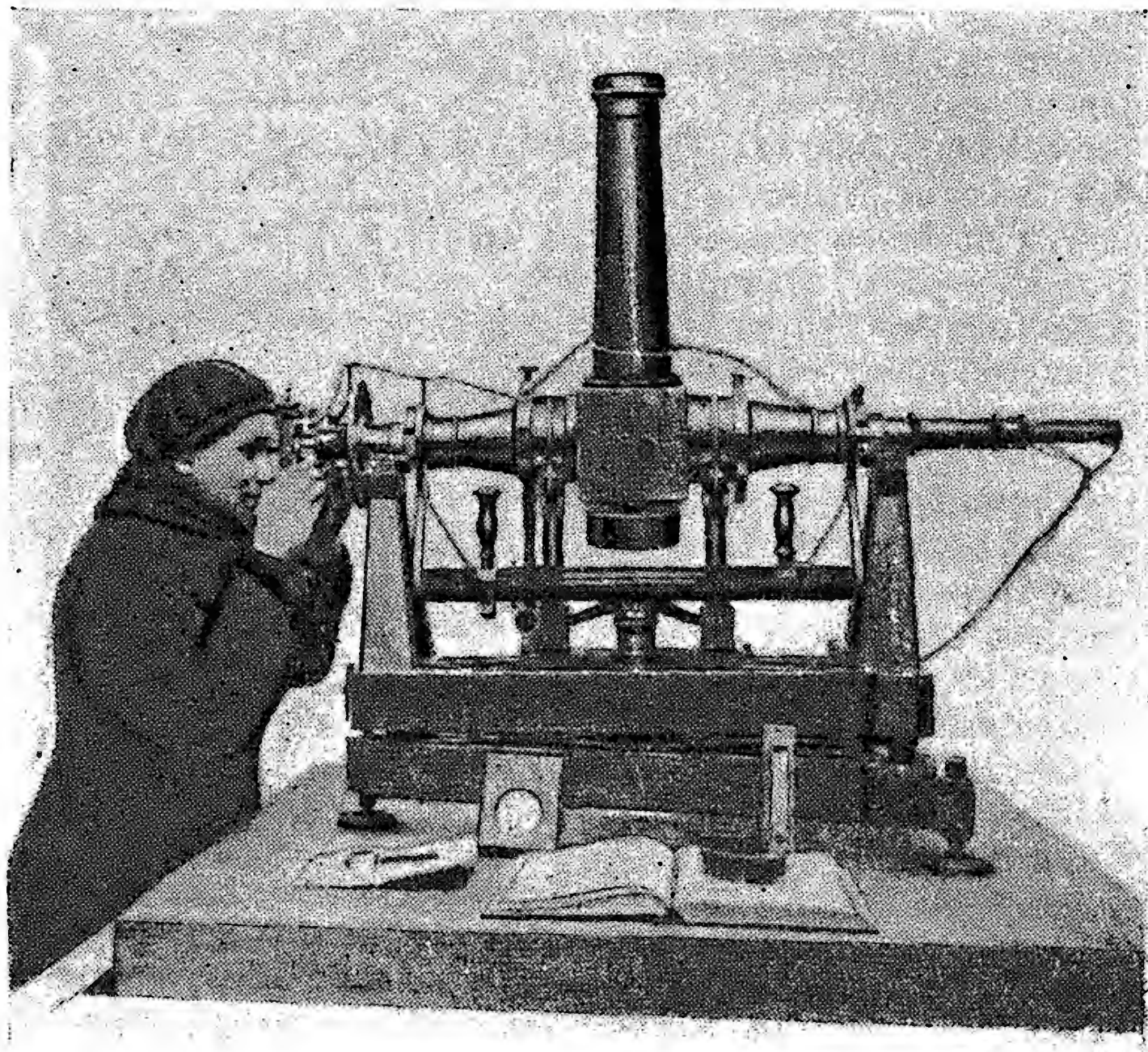


Рис. 25.

меридиана. Этот инструмент называется *пассажным* (от французского слова «пассаж» — прохождение) (рис. 25).

На перекрестке трубы с осью находится куб, внутри которого помещается стеклянная призма. Луч, идущий от звезды вдоль трубы, встречает призму, отклоняется ею под прямым углом и направляется вдоль полой горизонтальной оси к глазу наблюдателя. Для точности опреде-

ления прохождения звезды через меридиан в окулярной части инструмента помещаются тонкие горизонтальные и вертикальные нити, одна из которых проходит через центр поля зрения, совпадающий с положением меридиана. Нити освещаются электролампочкой с противоположного конца полой оси. При вращении трубы наблюдатель остаётся неподвижным и с одинаковым удобством может наблюдать звёзды и у зенита и у горизонта.

Небесный меридиан и вступающие на него друг за другом звёзды являются одними из самых точных часов в природе.

§ 8. Солнечное время

В практической жизни мы ежедневно распределяем время соответственно смене дня и ночи. Если бы Солнце всё время сохраняло своё положение среди звёзд, то смена дня и ночи происходила бы в тот же промежуток времени, в какой происходит возвращение звёзд на меридиан, и тогда солнечные сутки равнялись бы звёздным. Но Солнце всё время как бы смещается среди звёзд вследствие движения Земли вокруг Солнца в направлении, противоположном видимому суточному вращению, от запада к востоку, так что за год оно делает полный оборот, а за сутки перемещается приблизительно на 1° . Пусть в некоторый момент времени Солнце прошло через меридиан одновременно с какой-нибудь звездой. В момент следующей верхней кульминации этой звезды оно окажется восточнее звезды приблизительно на 1° и пройдёт через меридиан позже неё (см. рис. 26).

Большая продолжительность солнечных суток сравнительно со звёздными объясняется одновременным суточным вращением и обращением Земли вокруг Солнца. На рис. 26 показано первое положение Земли, при котором для точки M Солнце в меридиане, т. е. наступил полдень. Через звёздные сутки Земля сделает полный оборот вокруг оси и, двигаясь вокруг Солнца, придёт во второе положение; но для той же точки M Солнце ещё не будет в меридиане, и чтобы наступил следующий полдень, нужно Земле повернуться вокруг оси ещё на некоторый угол $МOM'$.

Поэтому солнечные сутки несколько длиннее звёздных, так что за год накапливается разница на целые сутки. Солнечных суток в году $365\frac{1}{4}$, а звёздных $366\frac{1}{4}$.

Измерение времени по Солнцу встречает некоторые трудности. Дело в том, что Солнце перемещается среди звёзд неравномерно, и солнечные сутки в течение года неодинаковы между собой. Это связано с тем, что Земля

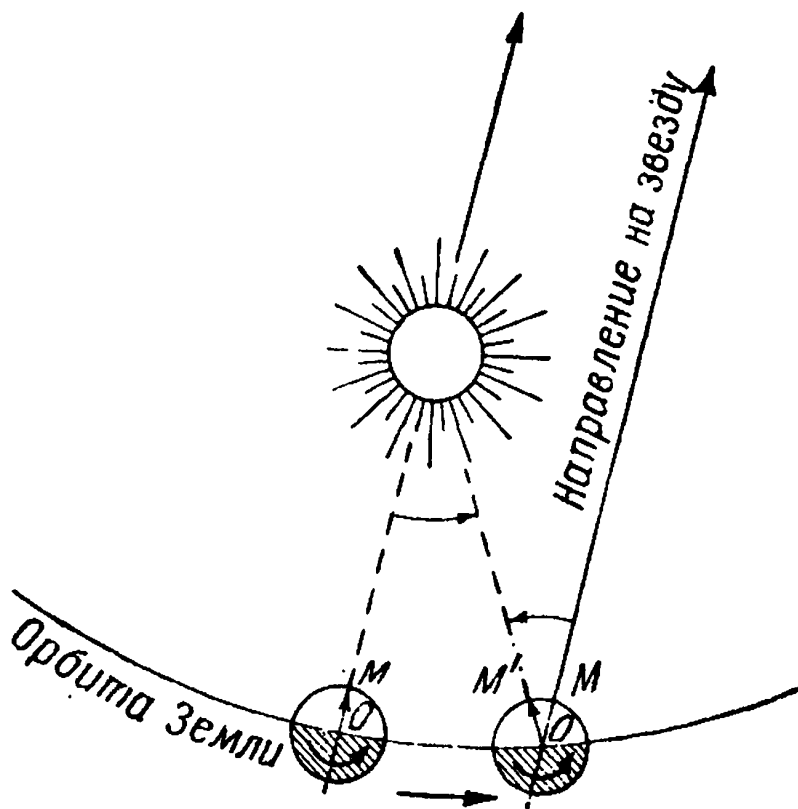


Рис. 26.

движется вокруг Солнца неравномерно (уравнение от эксцентриситета), а также и с тем, что плоскость её движения (плоскость эклиптики) наклонена к плоскости экватора (уравнение от наклона эклиптики). Поэтому введены *средние солнечные сутки*. Центр истинного Солнца мы заменяем точкой, которая перемещается равномерно по экватору, делая полный оборот в течение года. Такую воображаемую точку называют *средним солнцем*, а измеряемое по нему время — *средним временем* в отличие от истинного солнечного времени. *Средними сутками* называется промежуток времени между двумя последовательными *одноимёнными кульминациями среднего солнца*.

Продолжительность средних суток и принята за единицу измерения времени.

Если начало суток считать от момента верхней кульминации среднего солнца (средний полдень), то среднее время в любой момент можно измерять часовым углом среднего солнца. Но в практической жизни удобнее сутки начинать в полночь. Поэтому за начало суток принимают момент нижней кульминации среднего солнца, который наступает на 12 час. раньше, и такой счёт времени называют *гражданским*. Следовательно, гражданское время в какой-нибудь момент равно часовому углу среднего солнца с прибавлением к нему 12 час. (Если в сумме получится больше 24 час., то надо вычесть из числа часов 24.)

Средние сутки всегда одинаковы и составляют приблизительно $\frac{1}{365,25}$ часть года. Звёздные сутки составляют около $\frac{1}{366,25}$ части того же года. Отсюда видно, что средние сутки длиннее звёздных, и можно подсчитать, как велика разница между ними. Приблизительный подсчёт даёт разницу в 4 мин., а более точный — 3 м. 56 с. Подобно тому как средние сутки делятся на 24 средних часа, средний час — на 60 средних минут, а средняя минута на 60 средних секунд, так и звёздные сутки делятся на 24 звёздных часа, звёздный час — на 60 звёздных минут, а звёздная минута — на 60 звёздных секунд. Поскольку звёздные сутки короче средних, то и звёздный час, минута, секунда соответственно короче среднего часа, минуты, секунды. Для перечисления единиц звёздного времени в единицы среднего времени и обратно служат специальные таблицы (см. Приложения VI и VII, стр. 156).

Часы, идущие по звёздному времени, уходят вперёд сравнительно с часами, идущими по среднему времени, на 3 м. 56 с. за сутки. За месяц они уйдут вперёд уже почти на 2 часа, за $\frac{1}{4}$ года — на 6 час., за полгода — на 12 час. и за год — на 24 часа.

Очевидно, солнечные и звёздные сутки должны были бы начинаться одновременно в тот момент, когда центр Солнца совпадает с точкой весеннего равноденствия и кульминирует вместе с ней. Это бывает в момент весен-

него равноденствия. Но за начало солнечных суток условились принимать момент нижней кульминации Солнца, тогда как началом звёздных суток служит момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия. Поэтому одновременно должны начинаться те и другие сутки, когда обе указанные точки диаметрально противоположны. Среднее солнце проходит через точку осеннего равноденствия (т. е. точку, диаметрально противоположную точке весеннего равноденствия) 21 сентября, когда и бывает совпадение среднего солнечного и звёздного времени. (Истинное Солнце проходит через точку осеннего равноденствия несколько позже, 23 сентября.) Зная это, можно приближённо найти, какова должна быть разница в показаниях тех и других часов для любого другого момента. Например, для 1 января: от равноденствия прошло 3 месяца 9 дней. Уходя ежедневно вперёд приблизительно на 4 мин., звёздные часы оказываются 1 января впереди солнечных примерно на $6\frac{1}{2}$ часов.

Более точные значения звёздного времени для начала каждых суток на весь год даются в астрономических календарях и ежегодниках (см. Приложение XI, стр. 161).

Определяя время по звёздам в моменты их верхних кульминаций, получают звёздное время, как это было указано в предыдущем параграфе. Пользуясь календарными данными, это звёздное время переводят в среднее.

Кроме того, время может быть определено по наблюдениям над Солнцем. При этом надо только учесть, что мы измеряем время по условному среднему солнцу, которое вообще не совпадает с истинным и в течение года то опережает истинное Солнце, то отстаёт от него. Точные расчёты расхождений истинного и среднего солнца делаются на основе теории движения Земли, и в астрономических ежегодниках даётся на каждый день разница между средним и истинным солнечным временем, которая называется *уравнением времени*.

Уравнение времени показывает число минут и секунд, которое надо прибавить к истинному времени, чтобы получить среднее время. Часто в календарях даётся прямо среднее время в истинный полдень, т. е. в момент верхней кульминации центра истинного Солнца.

Уравнение времени четыре раза в течение года бывает равно нулю: около 15 апреля, 14 июня, 31 августа и 25 декабря. В эти дни среднее солнечное время почти совпадает в данном месте с истинным, и часы, идущие по среднему солнечному местному времени, показывают в полдень 12 час. В промежутках уравнение времени бывает или положительным, или отрицательным: положительным — когда среднее время впереди истинного, отрицательным — когда истинное время впереди среднего. Наибольшего положительного значения уравнение времени достигает 12 февраля — около $14\frac{1}{3}$ мин., наибольшего отрицательного — 4 ноября — около $16\frac{1}{3}$ мин. На рис. 27 дан график изменения уравнения времени в минутах по месяцам года.

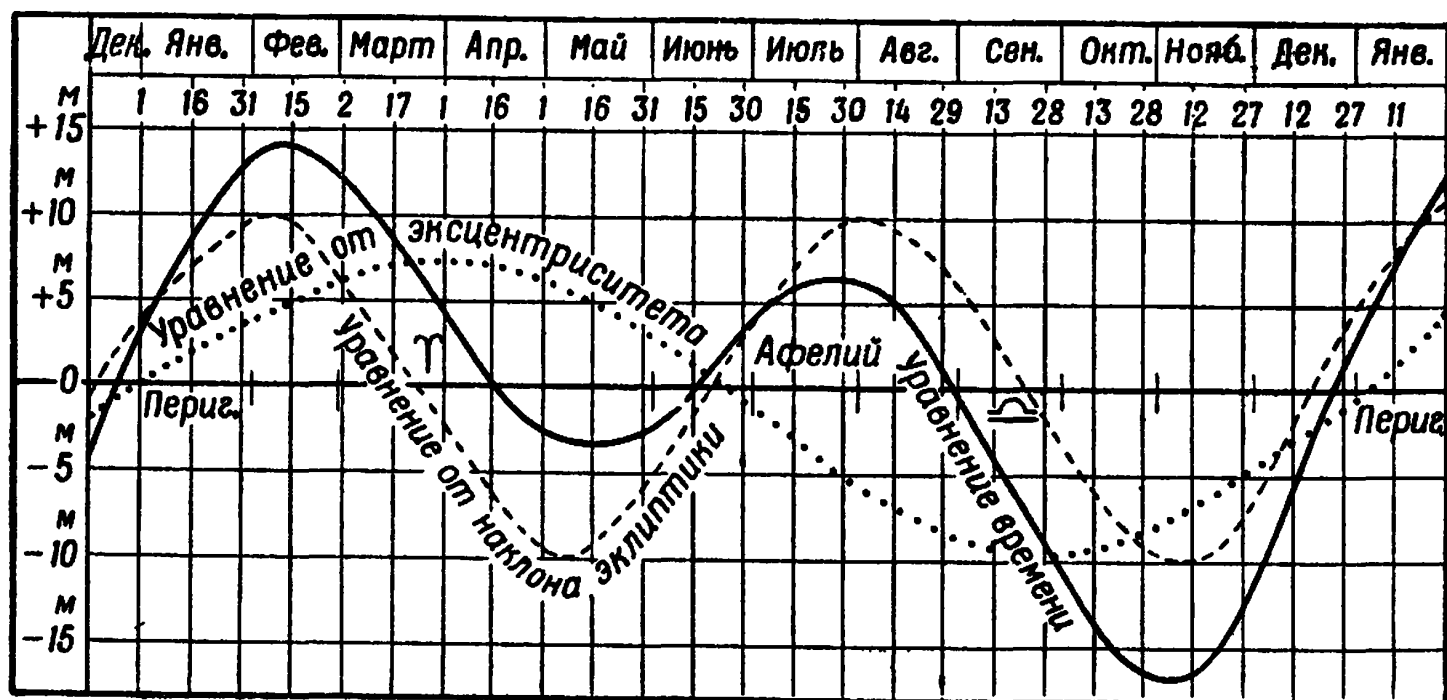


Рис. 27.

Проверку часов по Солнцу удобно делать в полдень. Если у нас заранее определено направление меридиана места наблюдения и отмечена полуденная линия, то момент полудня может быть определён по совпадению тени от вертикального шеста с полуденной линией.

Положим, что 1 декабря в этот момент часы, идущие по местному среднему времени, показывали 12 ч. 3 м. В календаре находим, что уравнение времени 1 декабря равно —11 мин.; значит, среднее время в момент истинного полудня должно быть 12 ч. — 11 м. = 11 ч. 49 м.

Поправка часов: 11 ч. 49 м. — 12 ч. 3 м. = —14 мин. Таким образом, часы ушли вперёд на 14 мин.

Более точная проверка часов по Солнцу делается двумя наблюдениями Солнца на равных высотах до полудня и после полудня при помощи угломерного инструмента или особого приспособления — *солнечного кольца*. В этом случае отмечается показание часов в некоторый момент часа за два до полудня и замечается

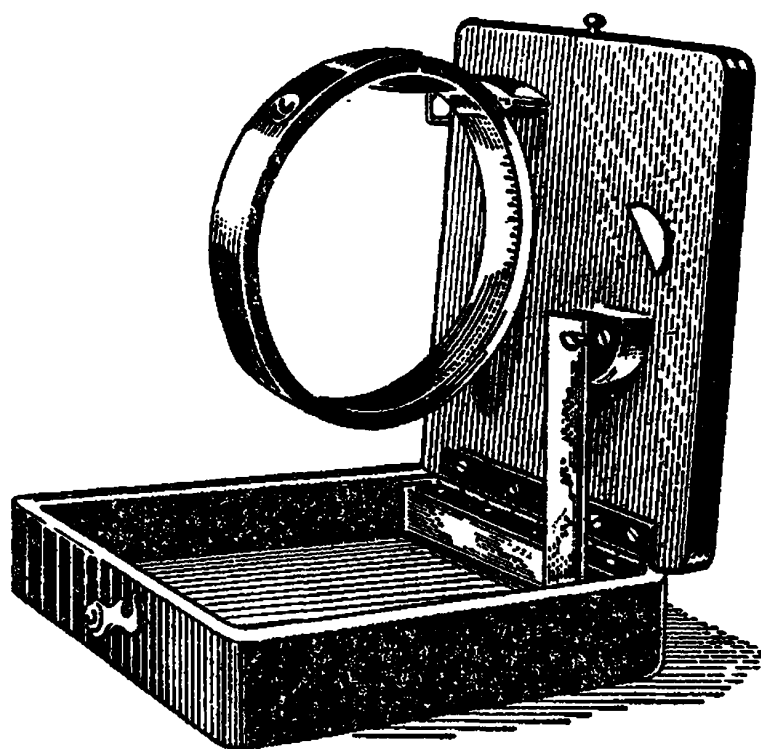


Рис. 28.

высота Солнца. Затем отмечается второе показание часов, когда Солнце после полудня займёт ту же высоту. Момент полудня будет посередине между этими моментами. Например, первое показание часов 10 ч. 15 м., второе — 13 ч. 55 м.; следовательно, показание часов в полдень будет

$$\frac{10 \text{ ч. } 15 \text{ м.} + 13 \text{ ч. } 55 \text{ м.}}{2} =$$

$$= \frac{24 \text{ ч. } 10 \text{ м.}}{2} = 12 \text{ ч. } 5 \text{ м.}$$

Солнечное кольцо имеет в одном месте маленькое круглое отверстие, а на внутренней противоположной стороне — равные деления (рис. 28). Кольцо это поворачивается так, чтобы на делениях появилось светлое пятнышко от солнечных лучей, прошедших через отверстие. Положение пятнышка на том или другом делении соответствует определённой высоте Солнца. При наблюдениях кольцо подвешивается за одну и ту же точку, будучи обращено отверстием к Солнцу.

При тщательном наблюдении при помощи солнечного кольца ошибка в определении момента истинного полудня будет меньше одной минуты, что на практике вполне достаточно.

Солнечное кольцо можно использовать и для определения широты (см. Приложение XX).

Солнечное кольцо по своему устройству так просто, что его можно изготовить самому из цилиндрической консервной банки. Для этого в боковой стороне пустой несмятой банки нужно проткнуть небольшое круглое отверстие (диаметром примерно в 1 мм), а на противоположной внутренней стороне приклеить полоску миллиметровой или просто разграфлённой на мелкие равные деления бумаги. На расстоянии восьмой части окружности от отверстия нужно прикрепить нить для подвешивания, а в противоположной стороне — грузик (рис. 29).

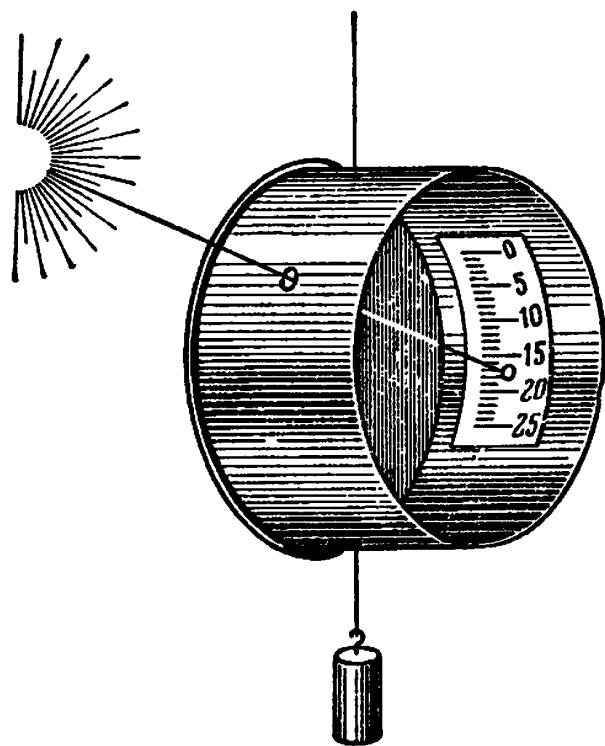


Рис. 29.

До полудня замечаются показание часов и деление кольца, на котором находится светлое пятнышко от лучей Солнца, прошедших через отверстие. Затем отмечается то показание часов, когда пятнышко после полудня окажется на прежнем делении. Это и даст нам два показания часов, соответствующих одинаковым высотам Солнца, т. е. моментам, одинаково удалённым от истинного полудня.

Изменение положения тени в течение дня даёт возможность построить солнечные часы, которые в прежние времена, до изобретения механических часов, были в большом употреблении, да и теперь ещё могут сыграть свою роль. Опишем простейшие из них, доступные для изготовления каждому. Они называются экваториальными, потому что циферблат их располагается в плоскости экватора, а теневой штифт направлен по оси мира, т. е. перпендикулярно к циферблату (рис. 30). Циферблат здесь получается делением круга на 24 равные части. Чтобы штифт был направлен по оси мира, он должен быть наклонён к горизонтальной плоскости под углом, равным широте места (широту можно взять с карты), например в Москве под углом 56° , а плоскость циферблата должна составлять с плоскостью горизонта

угол $90^\circ - \varphi$, например в Москве 34° . Часы устанавливаются так, чтобы штифт своим верхним концом был направлен на полюс мира, а для этого находящаяся под ним нижняя точка циферблата должна быть направлена на север. (Если установка производится по компасу, то нужно ввести поправку на магнитное склонение в данном месте.) Около этой нижней точки ставится цифра 12, соответствующая полуденному положению тени. От неё

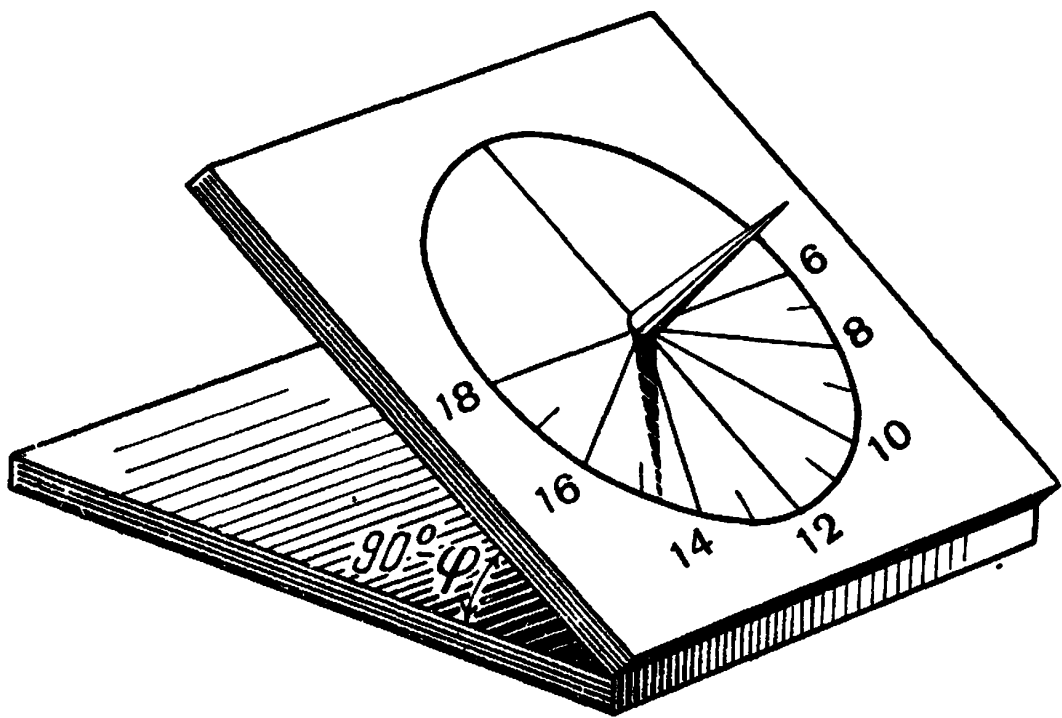


Рис. 30.

в одну сторону отмечаются цифры часов, соответствующих утреннему положению тени (11, 10, 9, 8), а в другую сторону — вечернему положению (13, 14, 15,...).

Надо заметить, что солнечные часы дают истинное солнечное время, от которого мы должны каждый раз переходить к среднему; для этого необходимо прибавить к показанию часов уравнение времени данного дня.

Мы видели, что установка солнечных часов требует знания широты места и направления меридиана. Широту можно взять по карте, направление меридиана — по компасу. Чтобы часы были пригодны для разных широт, надо сделать их так, чтобы угол между горизонтальной подставкой и циферблатом мог изменяться. Точность установки можно проверять транспортиром.

Ввиду того что Солнце в дни равноденствий находится в плоскости экватора, а в зимнее время проходит в юж-

ном небесном полушарии и имеет отрицательные склонения, оно в это время не освещает циферблата, нанесённого на северной стороне экваториальной плоскости часов. Можно было бы теневой стержень продолжить сквозь циферблат и на обратной (нижней) стороне его нанести такие же деления для зимнего времени. Однако такие часы были бы неудобны, и, кроме того, близ равноденствий тень на циферблате пропадала бы. Поэтому лучше построить так называемые горизонтальные солнечные часы, циферблат которых расположен в горизонтальной плоскости. Они лишены недостатков экваториальных часов, но несколько труднее для изготовления. Дело в том, что в горизонтальной плоскости тень от Солнца перемещается неравномерно и углы, соответствующие промежутку в 1 час утром, около полудня и вечером неодинаковы вследствие наклона плоскости видимого суточного движения Солнца к горизонту. Наклон этот различен для разных широт, а потому деления для циферблата часов на разных широтах различны. Расчёт делений делается по формуле: $\operatorname{tg} x = \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} t$, где x обозначает угол, образуемый линией какого-либо часа с полуденной линией на циферблате, t — время, протекшее от полудня, φ — географическая широта данного места. Расчёт, дающий углы от полуденной линии (12 час.) до каждого деления через один час в обе стороны от неё, т. е. до полудня и после полудня, приведён в следующей таблице:

Для широты	От черты на 12 час. до					
	11 ч., 13 ч.	10 ч., 14 ч.	9 ч., 15 ч.	8 ч., 16 ч.	7 ч. 17 ч.	6 ч., 18 ч.
40°	10°,0	20°,5	33°,0	48°,0	67°,0	90°,0
50°	12°,0	23°,5	37°,0	53°,0	70°,0	90°,0
60°	14°,0	27°,0	41°,0	56°,0	72°,0	90°,0
70°	14°,5	28°,0	43°,0	58°,0	73°,0	90°,0

Для промежуточных широт можно получить с достаточным приближением углы, пропорциональные разности широт. Например, для Москвы, беря широту круглым числом 56°, прибавляем к углам часов последовательно

по 0,6 разности между углами для 60 и 50° широты и получаем: $0,6 \cdot 2^\circ = 1^\circ,2$; $0,6 \cdot 3^\circ,5 = 2^\circ,1$; $0,6 \cdot 4^\circ = 2^\circ,4$; $0,6 \cdot 3^\circ = 1^\circ,8$.

В результате углы для часов циферблата выражаются круглыми числами: $13^\circ,0$; $25^\circ,5$; $39^\circ,5$; $55^\circ,0$; $71^\circ,0$. Помещаем примерный чертёж циферблата горизонтальных солнечных часов для широты Москвы и общий их вид (рис. 31). Теневой стержень здесь заменён краем пластинки, плоскость которой должна быть перпендикулярна к циферблату, а край срезан наклонно в соответствии с широтой места. Циферблат устанавливается горизонтально по уровню, а теневая пластинка — в плоскости меридиана по компасу с поправкой на магнитное склонение (см. стр. 15).

Подобно горизонтальным солнечным часам можно построить и вертикальные солнечные часы. Такие часы и строились раньше на стенах зданий. Их можно видеть, например, в Москве на улице 25 Октября на старинном здании, занимаемом теперь Историко-архивным институтом, или в Новодевичьем монастыре. Расчёт углов для циферблата вертикальных часов, перпендикулярного меридиану, можно сделать по формуле: $\operatorname{tg} x = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} t$.

§ 9. Местное и всемирное время. Поясное и декретное время

Наш счёт времени и проверка часов по небесным светилам тесно связаны с тем местом на Земле, где производятся наблюдения. В самом деле, начало суток соответствует моменту кульминации среднего солнца. Вследствие суточного вращения кульминация одного и того же светила для мест на Земле, находящихся восточнее данного, будет происходить раньше, чем в данном месте, и сутки в этих местах будут начинаться раньше. Так как за один час происходит поворот небесной сферы на $\frac{1}{24}$ полного оборота, т. е. на $360^\circ : 24 = 15^\circ$, то два места, отличающихся по долготе на 15° , будут иметь и время, отличающееся на один час. Время, определяемое по моменту кульминации среднего солнца в данном месте, называется *местным временем*. Понятно, что местное

время одинаково для всех мест, лежащих на одном и том же земном меридиане. Мы можем и долготу выражать не в градусах, а в часах, деля окружность не на 360 частей, а на 24 части, так что дуга $15^{\circ} = 1$ ч., $15' = 1$ м. и $15'' = 1$ с.

В таком случае мы можем установить следующее очевидное соотношение для двух мест на Земле: *разность местных времён определяет разность долгот, выраженную в часах.*

Это соотношение очень важно для практики, так как оно даёт возможность определять долготу одного места относительно другого путём сравнения их местных времён. За начало счёта долгот принят гриничский меридиан, вследствие чего определение долготы места сводится к определению в некоторый момент местного времени и сравнению его с гриничским временем, соответствующим этому моменту.

В астрономических ежегодниках принято давать моменты тех или других небесных явлений, положений небесных светил и пр. по гриничскому времени. Гриничское гражданское время называют также *всемирным*.

Зная долготу данного места, выраженную в часах, мы можем сказать, на сколько местное гражданское время впереди или позади всемирного. Например, Москва имеет восточную долготу около $37^{\circ},5$, или 2 ч. 30 м.; следовательно, местное гражданское время Москвы впереди всемирного на 2 ч. 30 м. Долгота Нью-Йорка — западная, равная $73^{\circ}59'$, или 4 ч. 56 м., следовательно, местное гражданское время Нью-Йорка позади всемирного на 4 ч. 56 м.

Пользование всюду местным временем встречает большие неудобства при переездах к востоку или западу, так как путешественник должен постоянно переводить стрелки своих часов, чтобы их показания соответствовали местному времени тех пунктов, которые он посещает. Во избежание этих неудобств введено *поясное время*.

Вся поверхность земного шара условно разделена меридианами на 24 пояса шириной в 15° , или 1 час. Во всех местах, лежащих в пределах данного пояса, время

должно считаться по среднему времени середины пояса, и поэтому разница между поясным и местным временем внутри каждого пояса вообще доходит только до получаса.

Средним меридианом начального, или нулевого, пояса служит гриничский меридиан; средний меридиан первого пояса лежит к востоку от гриничского на 15° , или на 1 час; средний меридиан второго пояса лежит на $2 \cdot 15^\circ = 30^\circ$, или на 2 часа восточнее гриничского, и т. д. Номер пояса показывает, на сколько часов время данного пояса опережает всемирное; минуты же и секунды на всех часах одинаковы. Например, если во Владивостоке, находящемся в IX поясе, часы показывают 3 ч. 25 м. пополудни, или 15 ч. 25 м., то всемирное время в этот момент равно 15 ч. 25 м. — 9 ч. = 6 ч. 25 м. утра.

У нас в СССР поясное время введено в 1919 г. При этом были чётко установлены границы поясов. Эти границы должны были бы проходить по меридианам, отстоящим на $7^\circ,5$ долготы по обе стороны от среднего меридиана каждого пояса. Но по практическим соображениям они во многих местах проведены с бóльшим или меньшим отклонением от меридианов: по государственным границам, по пограничным линиям областей, по рекам, горным хребтам и т. п. Таким образом, в отдельных местах поясное время может отличаться от местного больше чем на полчаса.

В нулевом поясе (гриничское, или западноевропейское, время) находятся Англия, Франция, Испания, Алжир, Марокко.

В первом поясе (среднеевропейское время — на 1 ч. впереди всемирного — Норвегия, Швеция, Германия, Австрия, Швейцария, Италия.

Во втором поясе — Ленинград, Рига, Таллин, Минск, Москва, Киев, Львов, Кишинёв, Крым и другие места СССР до Архангельска, Вологды, Кинешмы, Ростова-на-Дону.

В третьем поясе — Киров, Тамбов, Пенза, вся Волга от Кинешмы, Кавказ.

Распределение поясов по территории нашего Союза можно видеть на карте (рис. 32).

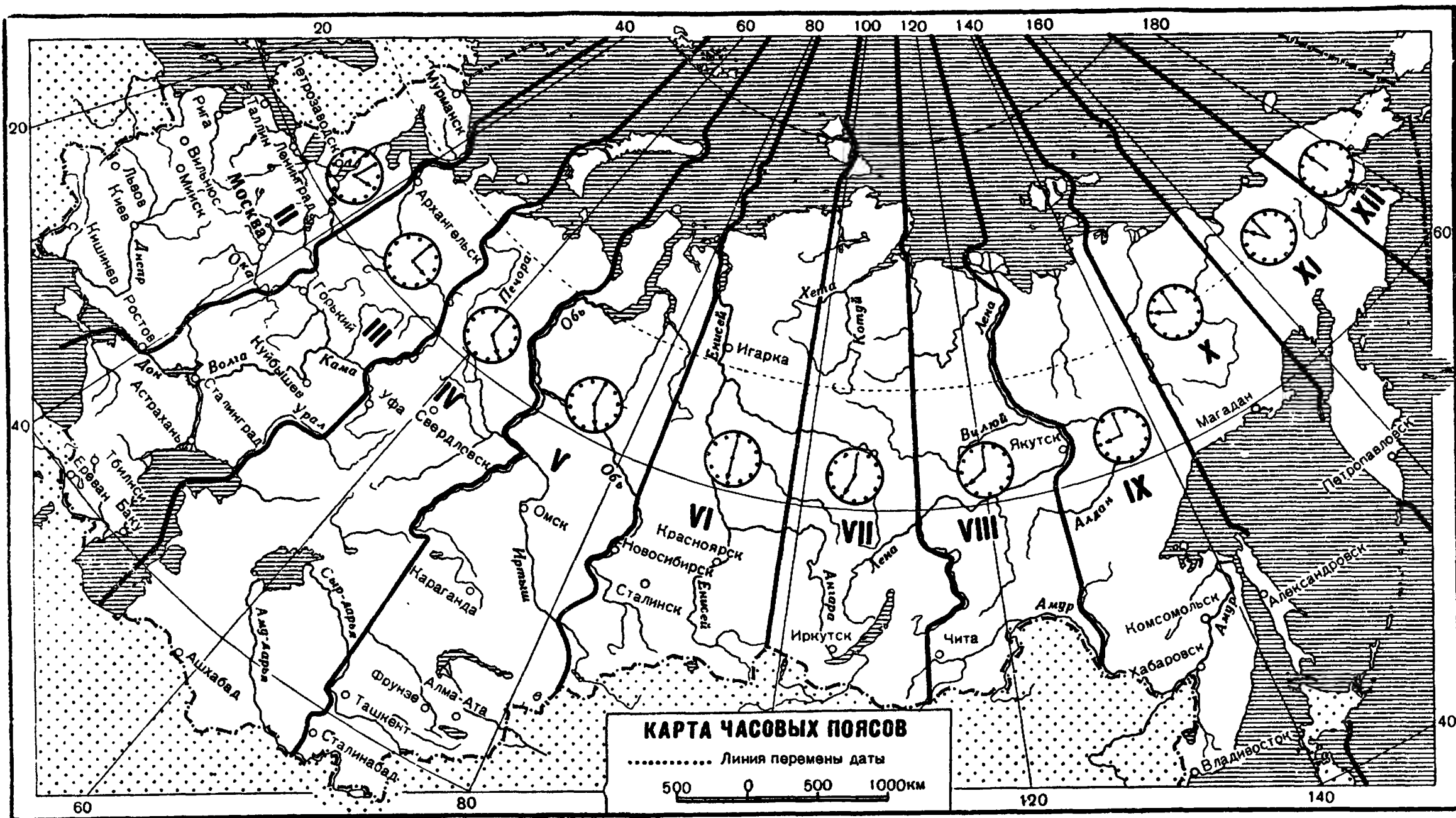


Рис. 32.

Наши дальневосточные центры, как Владивосток, Хабаровск, Комсомольск, относятся уже к IX поясу, а крайним нашим восточным поясом является двенадцатый.

Особо нужно отметить, что правительственным декретом от 16 июня 1930 г. во всём нашем Союзе часовая стрелка была переведена на час вперёд. Так, в Москве и во всех местах, отнесённых ко II поясу, часы идут впереди гриничских уже не на 2, а на 3 часа. Это — так называемое декретное время. Оно введено для экономии электроэнергии, которая достигается тем, что население кончает вечером свою дневную жизнь на час раньше, чем оно привыкло.

По указанному выше постановлению движение поездов, так же как и отметки времени на телеграммах, производятся на всей территории СССР по декретному времени г. Москвы. Таким образом, когда говорят 9 ч. 30 м. по московскому времени, т. е. времени, по которому живёт Москва, то это, по-настоящему, время II пояса, переведённое на час вперёд; оно впереди всемирного на 3 часа и совпадает с временем III пояса.

Местное же время в Москве соответственно долготе Москвы, как мы видели, впереди всемирного приблизительно на 2 ч. 30 м. Отсюда видно, что «московское время» на полчаса впереди местного гражданского времени. Всё это нужно знать для того, чтобы уметь произвести проверку часов по наблюдениям над Солнцем или звёздами.

Для перевода местного гражданского времени в поясное и обратно надо знать долготу данного места в часовой мере и номер пояса, в котором находится это место. Исходя из того, что разность времён двух мест равна разности их долгот, мы можем написать:

$$T_{\text{п}} - m = N - \lambda,$$

где $T_{\text{п}}$ — поясное время, m — местное время, N — число часов, равное номеру пояса, λ — долгота данного места. По этой формуле мы и можем вычислить поясное, или местное, время:

$$T_{\text{п}} = m + N - \lambda, \quad \text{или} \quad m = T_{\text{п}} - N + \lambda.$$

Примеры. 1. В Москве ($\lambda = 2$ ч. 30 м.) 1 декабря местное время в полдень равно 11 ч. 49 м. Переведём его в поясное время:

$$T_{\text{п}} = 11 \text{ ч. } 49 \text{ м.} + 2 \text{ ч.} - 2 \text{ ч. } 30 \text{ м.} = 11 \text{ ч. } 19 \text{ м.}$$

Чтобы получить декретное время, надо прибавить 1 час: $11 \text{ ч. } 19 \text{ м.} + 1 \text{ ч.} = 12 \text{ ч. } 19 \text{ м.}$ Можно сразу получить декретное московское время по той же формуле, если считать, что оно совпадает с поясным временем III пояса:

$$T_{\text{д}} = 11 \text{ ч. } 49 \text{ м.} + 3 \text{ ч.} - 2 \text{ ч. } 30 \text{ м.} = 12 \text{ ч. } 19 \text{ м.}$$

2. Город Молотов ($\lambda = 3$ ч. 45 м.) находится в IV поясе, а по декретному времени в V. Вопрос: до полудня или после полудня слушают там последние известия, передаваемые по радио из Москвы в 12 ч.? Декретное время в Молотове на 2 часа впереди московского, т. е. $12 \text{ ч.} + 2 \text{ ч.} = 14 \text{ ч.}$, местное время:

$$m = 14 \text{ ч.} - 5 \text{ ч.} + 3 \text{ ч. } 45 \text{ м.} = 12 \text{ ч. } 45 \text{ м.},$$

т. е. после полудня.

3. Каково поясное время в Киеве, когда по местному среднему времени там 7 ч. 20 м.? Киев относится ко II часовому поясу, а долгота его $\lambda = 2$ ч. 2 м. Следовательно,

$$T_{\text{п}} = 7 \text{ ч. } 20 \text{ м.} + 2 \text{ ч.} - 2 \text{ ч. } 2 \text{ м.} = 7 \text{ ч. } 18 \text{ м.}$$

Значит, местное время в Киеве только на две минуты отличается от поясного. По декретному времени это будет 8 ч. 18 м.

4. Определить местное время в Каменец-Подольске, когда часы, идущие по московскому декретному времени, показывают 8 ч. 32 м. Каменец-Подольск имеет долготу 1 ч. 46,3 м. и находится в том же поясе, что и Москва, т. е. во II, или III декретном. Поэтому

$$m = 8 \text{ ч. } 32 \text{ м.} - 3 \text{ ч.} + 1 \text{ ч. } 46,3 \text{ м.} = 7 \text{ ч. } 18,3 \text{ м.}$$

Для выполнения всех этих расчётов для главнейших городов Советского Союза в конце книги даны их широта, долгота и номер часового пояса (см. Приложение V, стр. 154).

§ 10. Приближённые способы определения времени

Познакомившись с тем, как связано измерение времени с суточным вращением, которое мы наблюдаем по изменению положения небесных светил относительно горизонта, мы можем приближённо определить время, глядя на небо и не пользуясь часами и какими-либо инструментами.

Уже по положению Солнца днём на небе можно приблизительно определить время, если вспомнить, что около 7 час. (по декретному времени) Солнце бывает над точкой востока, в полдень — над точкой юга и около 19 час. — над точкой запада. Замечая много раз положение Солнца, можно приучиться на глаз определять время с точностью до получаса. Надо заметить, что зимой (в декабре — январе) на широтах, близких к 55° , Солнце восходит около 9 час. и заходит около 16 час. (см. рис. 6).

Ночью указателем времени могут служить звёзды и среди них прежде всего звёзды Б. Медведицы, которую мы всегда можем найти на безоблачном небе. Она, как и все созвездия, совершает свой суточный оборот вокруг полюса мира. Для приближённого определения времени мы можем вообразить на небе «стрелку», проходящую от Полярной звезды к двум крайним звёздам ковша Б. Медведицы (α и β). Эта стрелка как бы закреплена у Полярной звезды и за сутки делает полный оборот вокруг неё. При этом за час стрелка поворачивается своим концом приблизительно на ширину ковша (промежуток между β и γ), за 2 часа вся Б. Медведица очень заметно изменит своё положение, а за 6 час. она сделает четверть своего полного оборота (рис. 33). Зная это, следует напрактиковаться сначала с часами, а потом на глаз определять протекшее время по «стрелке» Б. Медведицы.

Наиболее удобно определять время по Б. Медведице в осенние и зимние вечера. В день осеннего равноденствия, 23 сентября, около 23 час. по гражданскому времени «стрелка» Б. Медведицы бывает направлена прямо вниз от Полярной звезды к точке севера. Благодаря изменению вида ночного неба в течение года, происходя-

щему вследствие движения Земли вокруг Солнца, такое положение Б. Медведицы наблюдается через месяц, в конце октября — уже около 21 часа, в конце ноября — около 19 час. и т. д. Во время зимнего солнцестояния, в конце декабря, «стрелка» Б. Медведицы в полночь горизонтальна и направлена вправо от Полярной звезды.

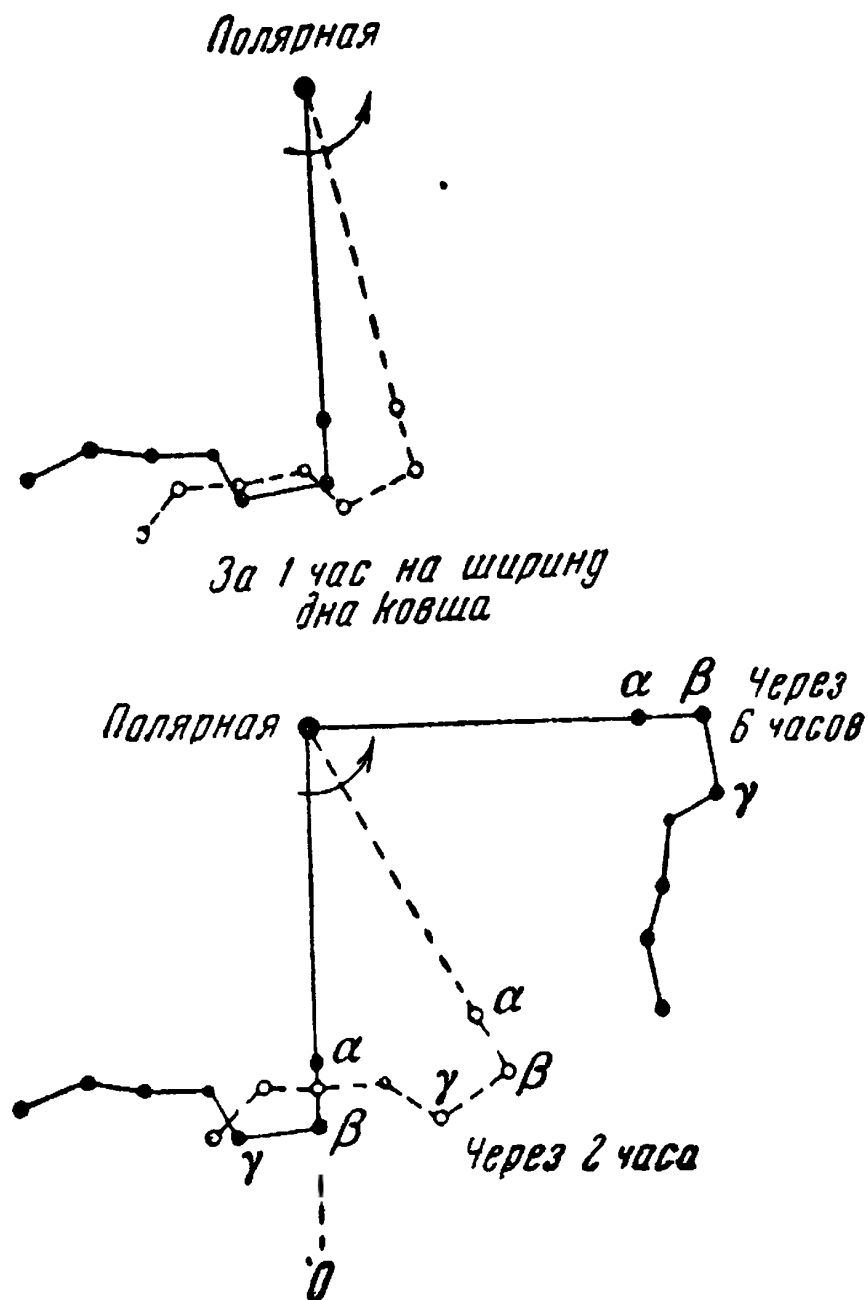


Рис. 33.

К весеннему равноденствию, в конце марта, небесная стрелка к полуночи принимает почти вертикальное положение, но направлена вверх от Полярной, так как Б. Медведицу в это время мы видим высоко над головой. В конце июня, во время летнего солнцестояния, небесная стрелка в полночь бывает вновь почти горизонтальна, но направлена уже влево от Полярной звезды.

На рис. 34 в центре расположен полюс мира, в котором приблизительно находится Полярная звезда; Б. Медведица показана в различных положениях, как она может быть видна в различные часы в тот или иной месяц. Для ориентировки отмечен горизонт и точка севера. Надо

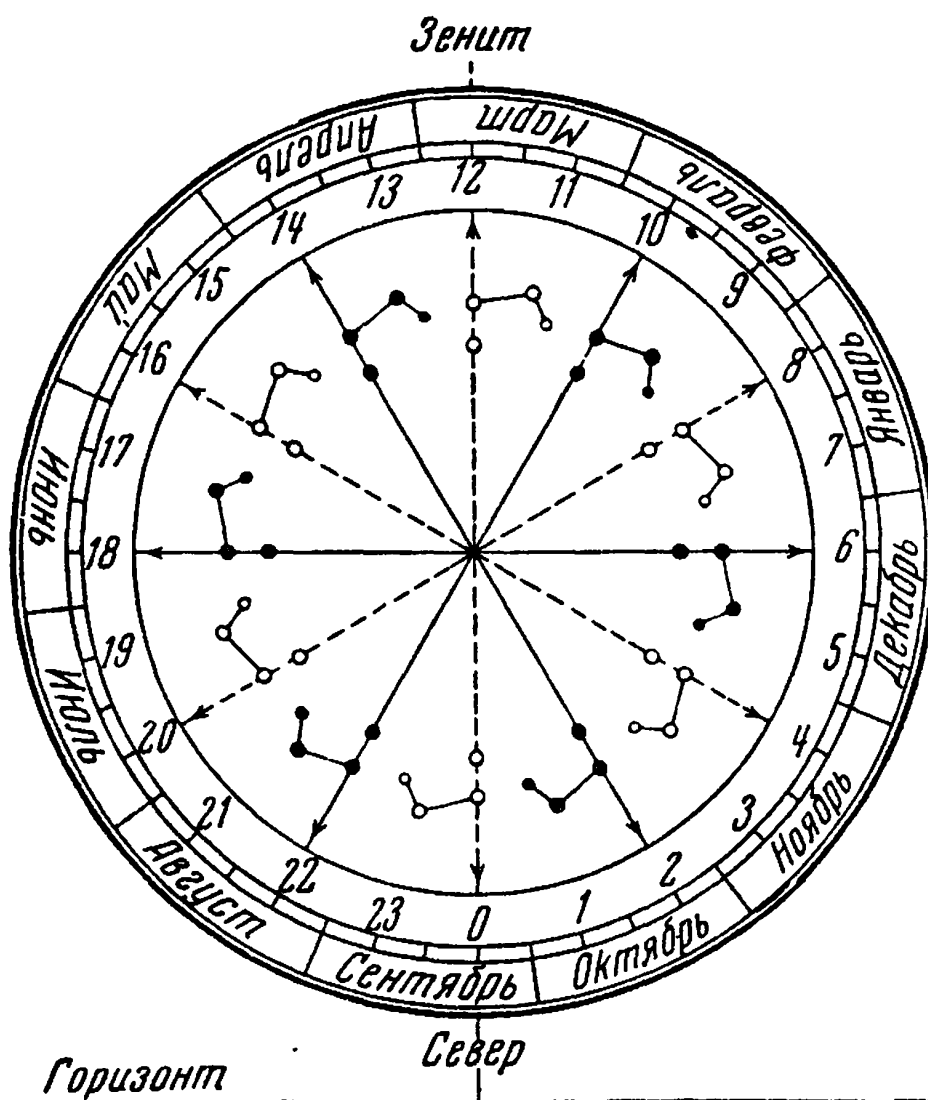


Рис. 34.

стать лицом к Полярной; тогда вниз к горизонту от Полярной будет север, вверх — зенит. Б. Медведица изображена не семью звёздами, а только четырьмя, составляющими «ковш» без «рукоятки».

Небесная стрелка с Б. Медведицей изображена через каждые 2 часа. На внешнем круге указано, какое положение Б. Медведицы по отношению к горизонту бывает в полночь в том или ином месяце. Основным взят день, когда небесная стрелка направлена в полночь прямо вниз на север, — это бывает около 23 сентября. Для этого дня и поставлены цифры у внутреннего круга,

обозначающие часы суток. Для какого-нибудь другого месяца надо представить себе эти цифры все передвинутыми так, чтобы цифра 0 приходилась против данного месяца. Тогда будет видно, в котором часу в данном месяце небесная стрелка показывает на север. Месяцы на рис. 34 разделены на четыре части, т. е. приблизительно на недели.

Пример 1. 23 ноября в 0 час. Б. Медведица расположена по отношению к горизонту так, что её стрелка направлена к третьему делению ноября (рис. 34). Если же мы представим себе все цифры передвинутыми так, чтобы на третьем делении ноября стоял 0, то над севером станет цифра 20. Это значит, что 23 ноября стрелка Б. Медведицы направлена вниз к северу около 20 час., или, что то же, около 8 час. вечера.

Пример 2. В 0 час. 15 августа стрелка Б. Медведицы направлена к среднему делению августа (рис. 34). Передвинув все цифры часов так, чтобы на среднем делении августа стояла цифра 0, мы увидим, что 15 августа стрелка будет направлена к северу около $2\frac{1}{2}$ час. ночи.

Пример 3. 1 января стрелка в 0 час. должна быть направлена на начало января. Если мы передвинем цифры так, чтобы 0 стоял против черты, разделяющей декабрь и январь, то для 1 января получим направление стрелки на север около $17\frac{1}{2}$ час., т. е. в $5\frac{1}{2}$ час. вечера.

Чтобы легче ориентироваться в положениях Б. Медведицы в различные часы и в разные месяцы, мы предлагаем устроить подвижную модель «Полярные звёздные часы». В конце книги приложены две отпечатанные части этих часов (Приложение XVII):

- 1) неподвижная, с горизонтом, точкой севера, направлением на зенит и кругом, на котором нанесены месяцы;
- 2) подвижная, с Полярной звездой у центра и положениями Б. Медведицы через каждые 2 часа.

Подвижную часть надо вырезать по внешнему кругу, сделав выемку в одном месте, около цифры 24, как это показано пунктирной линией, наложить её на неподвижную так, чтобы центры кругов совпали, и скрепить их булавкой в центре.

При пользовании подвижной моделью надо повернуть верхнюю часть относительно нижней так, чтобы вырез стоял на соответствующем месте, а север был направлен вниз. Тогда цифры на внутреннем круге будут показывать часы ночи, соответствующие положению Б. Медведицы относительно горизонта. Месяцы разделены чёрточками на недели.

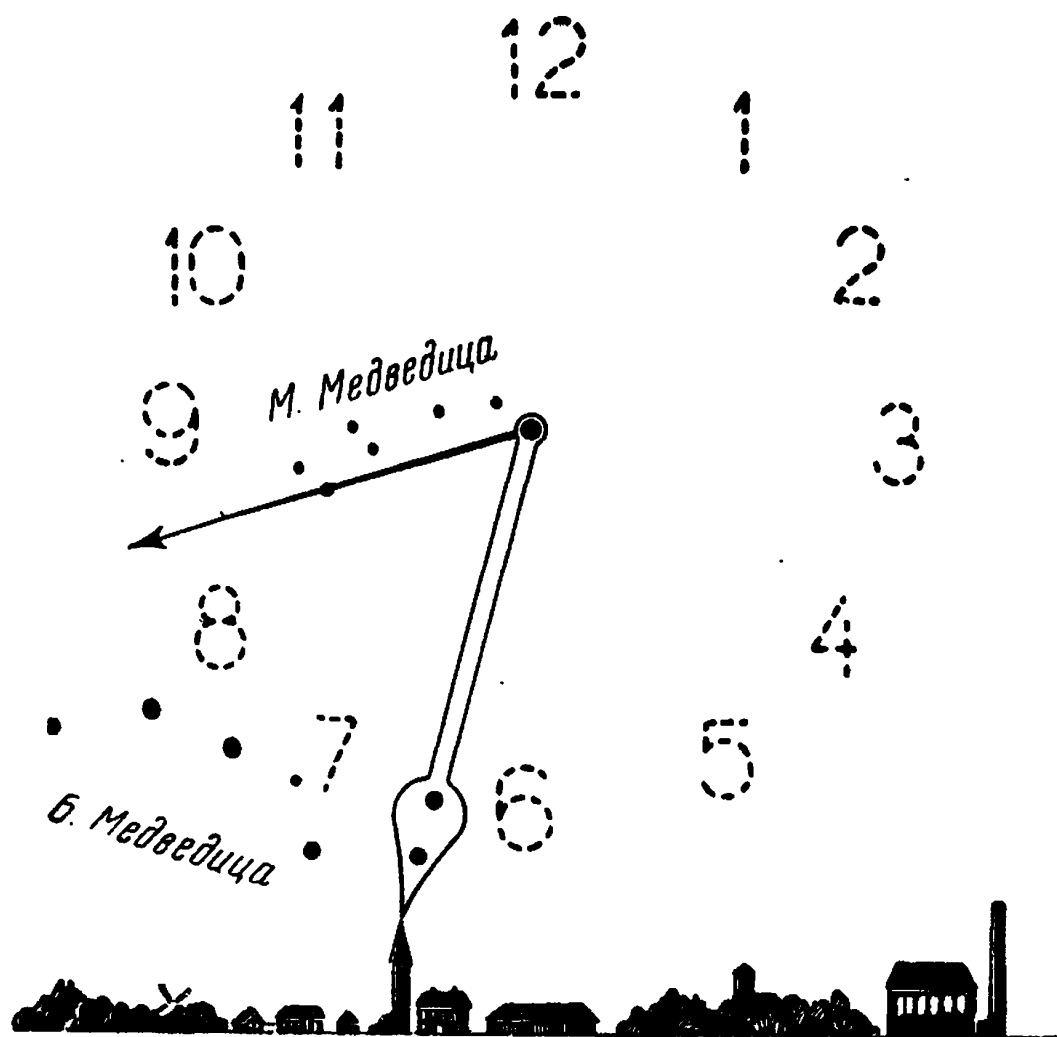


Рис. 35.

Приведём ещё один способ определения времени по звёздам, основанный на сравнении части неба около полюса мира с циферблатом часов. Циферблат часов разделён на 12 час. Каждому часовому делению циферблата соответствует поворот небесной сферы за 2 часа. Надо представить себе циферблат на небе с центром в Полярной звезде (рис. 35); над ней будет цифра 12, под ней — 6, справа — 3, слева — 9. По этому воображаемому циферблату отсчитываем показание нашей небесной стрелки. На рисунке это будет 6,5 часа. Затем найдём номер месяца от начала года с десятыми долями,

прошедшими от начала месяца до данного дня (каждые 3 дня считаем за одну десятую долю месяца). Например, для 12 октября надо взять число 10,4. Полученное число складываем с показанием часов и умножаем на два: $(6,5 + 10,4) \cdot 2 = 33,8$. Это число надо вычесть из некоторого постоянного для небесной стрелки Б. Медведицы числа, а именно 55,3, чтобы получить время в данный момент, т. е. $55,3 - 33,8 = 21,5$ часа, или $9\frac{1}{2}$ час. вечера. Если бы после вычитания получилось число больше 24, то нужно вычесть из него 24.

Постоянное число 55,3 зависит от определённого расположения Б. Медведицы среди других звёзд на небесной сфере.

Можно было бы взять и другую небесную стрелку, закреплённую также в полюсе мира, например стрелку, проходящую от Полярной к самой яркой после неё звёздочке Малой Медведицы. Для такой стрелки постоянное число будет иное, а именно 59,1.

В этом случае расчёт будет такой (рис. 35):

$$(8,4 + 10,4) \cdot 2 = 37,6,$$
$$59,1 - 37,6 = 21,5 \text{ часа.}$$

§ 11. Часы и хронометры, их проверка. Служба времени

Давно уже человек пользуется для измерения времени теми или другими механизмами или часами, движение в которых происходит согласованно с суточным движением среднего солнца, а в некоторых случаях с суточным движением точки весеннего равноденствия (звёздное время). Последним пользуются главным образом при астрономических наблюдениях. До изобретения часовых механизмов с маятником и гирями или пружиной пользовались водяными и песочными часами, в которых обеспечивалось равномерное медленное переливание воды или пересыпание песка. Песочные часы и до сих пор употребляются в медицинской практике. Конечно, такие часы не обладают большой точностью. Современные механизмы даже обыкновенных наших часов несравненно точнее.

Наиболее точными часами являются астрономические часы (рис. 36) в обсерваториях и переносные хронометры (рис. 37). Астрономические часы, как и обычные стенные,

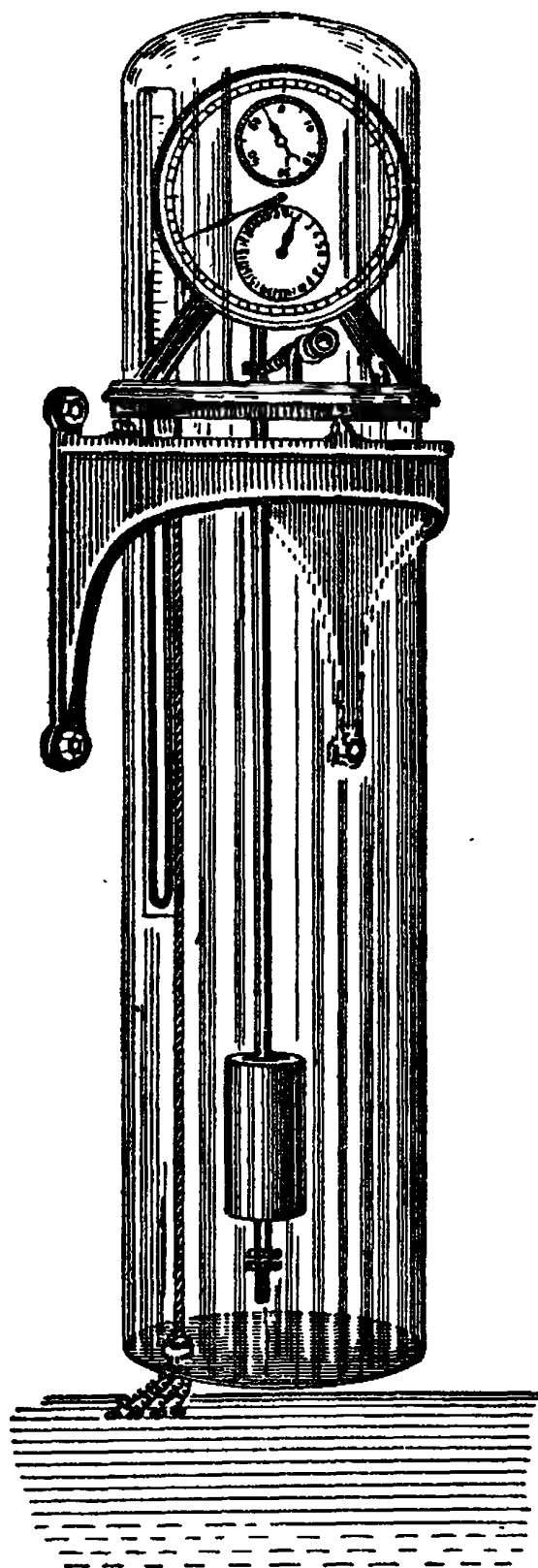


Рис. 36.

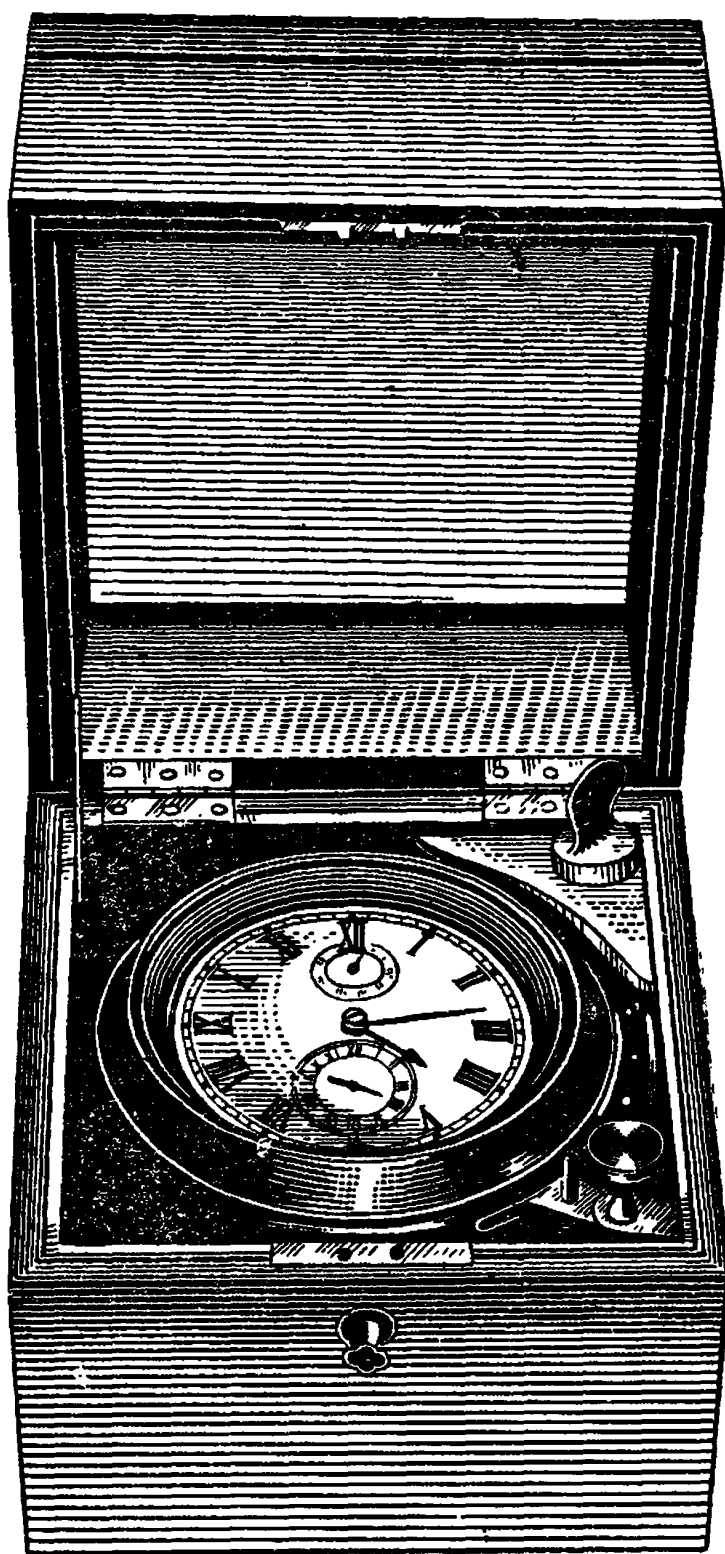


Рис. 37.

приводятся в движение гирями, а равномерность их хода регулируется маятником. Но они отличаются особой тщательностью выполнения и таким устройством, которое обеспечивает предохранение их от тех или других

влияний, могущих изменить их ход. В переносных хронометрах, так же как в карманных часах, движение поддерживается регулярно заводимой пружиной и регулируется колебаниями балансира или махового колёсика с упругой спиралькой или «волоском».

Обычно астрономические стенные часы отбивают секунды, а хронометры — полусекунды. В хронометрах секундная стрелка имеет сравнительно большой размер и двумя ударами переходит с одного деления циферблата на другое, указывая число прошедших секунд. Как бы тщательно ни был сделан механизм часов, всё-таки могут происходить нарушения равномерности и постоянства их хода вследствие изменения температуры, давления воздуха, ослабления силы заводной пружины, длины маятника, деформации по разным причинам отдельных частей и пр. Поэтому всякие часы нуждаются в периодической проверке по наблюдениям звёзд или по сигналам точного времени, передаваемым из астрономических обсерваторий. При этом в астрономических часах и хронометрах обычно не передвигают стрелки, а замечают разницу и определяют так называемую поправку.

Поправкой часов называют число минут и секунд, которые надо прибавить к показанию часов, чтобы получить точное время. Поправка определяется формулой

$$T_0 = T + U, \quad \text{или} \quad T_0 - T = U,$$

где T_0 — точное время, T — показание часов, U — поправка. Если часы совершенно точны, то поправка равна нулю. Поправка бывает положительна, если часы отстали, и отрицательна, если часы ушли вперёд.

Пример. В момент подачи сигнала точного времени в 7 ч. 0 м. 0 с. одни часы показывали 6 ч. 58 м. 30 с., другие — 7 ч. 2 м. 15 с. Для первых часов получим поправку 7 ч. 0 м. 0 с. — 6 ч. 58 м. 30 с. = + 1 м. 30 с., для вторых: 7 ч. 0 м. 0 с. — 7 ч. 2 м. 15 с. = — 2 м. 15 с. Первые часы отстали на 1 м. 30 с., вторые ушли вперёд на 2 м. 15 с.

Если бы при периодической проверке часов поправка у них оставалась одна и та же, то это значило бы, что часы идут совершенно равномерно. Но обычно поправка

изменяется в ту или другую сторону. Изменение поправки часов за сутки называется *ходом часов*. Отстающие часы имеют положительный ход (поправка увеличивается), а уходящие вперёд — отрицательный ход.

Пусть, например, при проверке 5 марта в 7 ч. 0 м. 0 с. поправка $U_1 = +1$ м. 20 с., при проверке 6 марта в 12 ч. 0 м. 0 с. поправка $U_2 = +1$ м. 45 с. Поправка изменилась за промежуток 1 д. 5 ч., равный 1,2 суток, следовательно, ход часов будет равен

$$\frac{1 \text{ м. 45 с.} - 1 \text{ м. 20 с.}}{1,2} = \frac{25 \text{ с.}}{1,2} = +21 \text{ сек.}$$

в сутки. В данном случае суточный ход получился положительным, т. е. часы отстают.

Пример ежедневной проверки часов:

Дата	Точный момент	Показание часов	Поправка	Суточный ход
1944 г. Май				
25	7 ч. 00 м. 00 с.	7 ч. 00 м. 23 с.	— 23 с.	+ 10 с.
26	То же	7 ч. 00 м. 13 с.	— 13 с.	+ 12 с.
27	» »	7 ч. 00 м. 01 с.	— 01 с.	+ 15 с.
28	» »	6 ч. 59 м. 46 с.	+ 14 с.	+ 11 с.
29	» »	6 ч. 59 м. 35 с.	+ 25 с.	+ 14 с.
30	» »	6 ч. 59 м. 21 с.	+ 39 с.	

Суточный ход составляет в среднем

$$\frac{+10 + 12 + 15 + 11 + 14}{5} = \frac{+62}{5} = +12,4 \text{ сек.}$$

Значит, часы ежедневно отстают в среднем на 12 сек. Колебания суточного хода у данных часов сравнительно со средним ходом были в пределах 2—3 сек. Для карманных часов такой ход считается очень хорошим. У лучших же хронометров суточный ход остаётся постоянным в пределах 0,1—0,2 сек.

Зная ход часов и поправку их для определённого момента, можно вычислить поправку и для какого-нибудь другого момента. Продолжим только что приведённый пример и вычислим поправку для показания часов 2 июня. С 30 мая прошло 3 суток. Суточный ход часов $+12,4$;

за 3 суток поправка изменится на $+37$ с. Это число и надо прибавить к прежней поправке на 30 мая. Получим новую поправку: $+39$ с. $+ 37$ с. $= +1$ м. 16 с. 2 июня часы отстают на 1 м. 16 с., которые и надо прибавить к их показанию, чтобы получить точное время. Но не рекомендуется рассчитывать поправку далеко вперёд, так как суточный ход может сильно измениться. Лучше всего ежедневно определять поправку часов по радиосигналам времени.

Знание точного времени требуется для самых разнообразных нужд современной жизни — научной, производственной деятельности, для составления точных карт, для всякого рода экспедиций по исследованию и освоению природных богатств. В некоторых работах требуется знание времени с точностью до сотых и даже тысячных долей секунды. Для того чтобы удовлетворить все потребности в точном времени, при ряде астрономических обсерваторий организованы так называемые *службы времени*. Они имеют три основные функции: определение, хранение и передачу точного времени.

Определение точного времени производится при помощи наблюдений пассажным инструментом моментов кульминации определённых звёзд, для которых с большой точностью известны их прямые восхождения. В современных установках отметка момента прохождения звезды через центр поля зрения выполняется автоматически на равномерно движущейся ленте, с помощью аппарата, подобного телеграфному. От этого аппарата идёт провод к месту наблюдения (к пассажному инструменту), где наблюдатель в нужный момент замыкает ток, и перо на ленте делает знак. Другое, рядом находящееся перо приводится в движение при замыкании тока, идущего по проводу к часам. Здесь замыкание тока производится при каждом колебании маятника. Такие приборы для регистрации времени называются *хронографами*.

При проверке хронометра непосредственным наблюдением наблюдатель смотрит в трубу, слушает и считает по ударам в уме секунды, заметив то показание часов, с которого он начал считать. Это менее точный способ, но он может понадобиться в экспедиции.

Нужно обеспечить знание точного времени и в промежутках между наблюдениями, которые иногда могут быть довольно длительными из-за пасмурной погоды. Для этого обсерватория имеет точно идущие часы особого устройства. Они помещаются в подвалах, в безопасности от сотрясений, где сохраняется постоянство температуры и давления воздуха. Ход часов в течение достаточно длительного времени хорошо изучен. Изготовление таких особо точных часов освоено в СССР мастерскими Всесоюзного института метрологии. В последние годы у нас в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэрофотосъёмки и картографии созданы так называемые кварцевые часы усовершенствованной конструкции, точность хода которых достигает 0,001 сек.

При помощи радиоаппаратуры и радиопередаточной станции служба времени выполняет и третью функцию — регулярную передачу точного времени. Передача точного времени по радио производится ширококешанием, обыкновенными сигналами и ритмическими сигналами. Для обычных практических надобностей и целей ориентировки достаточно ширококешательной передачи времени, которая производится четыре раза в сутки: в 1 ч. 00 м., в 7 ч. 00 м., в 12 ч. 00 м. и в 19 ч. 00 м. по московскому времени. При этом даются два длинных гудка и один короткий, начало которого совпадает с указанными моментами с точностью до 0,1 сек.

Обыкновенные сигналы точного времени, как и ритмические сигналы, передаются некоторыми станциями на определённой длине волны и в заранее известные моменты времени для специальных надобностей.

Ритмические сигналы даются при помощи так называемых часов-нониуса. У них минута среднего времени делится не на 60, а на 61 часть, и время полного колебания маятника составляет $\frac{60}{61}$ средней секунды. Замыкание тока при каждом колебании передаётся в эфир и принимается соответственно настраиваемыми радиоприёмниками в виде звуковых «точек». Такие сигналы подаются в течение 5 мин. пятью сериями по 61 сигналу в каждой, причём начальный сигнал передаётся более продолжи-

тельным «тире». Так как интервалы между сигналами короче секунды, то, слушая их и удары проверяемого хронометра, можно замечать их совпадение и расхождение. Если, например, первый сигнал передан в 14 ч. 01 м. 0 с., совпадение произошло на 21-м сигнале, а показание хронометра 14 ч. 01 м. 25 с., то точное время в момент совпадения

$$14 \text{ ч. } 01 \text{ м. } + 20 \cdot \frac{60 \text{ с.}}{61 \text{ с.}} = 14 \text{ ч. } 01 \text{ м. } 19,7 \text{ с.}$$

Значит, поправка $u = -5,3$ сек.

Служба времени в Советском Союзе охватывает большое число научных учреждений, проделавших значительную работу по повышению точности определения времени и передаваемых сигналов. Велики успехи научных работников Государственного астрономического института им. Штернберга, которые создали и освоили новые оригинальные конструкции приборов, позволившие отсчитывать моменты времени до 0,001 сек. Сейчас наша Служба времени во многих отношениях опередила лучшие службы времени капиталистических стран.

Одним из важнейших участков работы Службы времени является астрономическое определение поправок часов, которое производится с помощью пассажного инструмента, путём наблюдения прохождений через меридиан некоторых звёзд, называемых часовыми. Эти наблюдения дают не особенно точные результаты вследствие того, что сказываются личные ошибки наблюдателя и другие причины. Поэтому чрезвычайно большое значение имеет сконструированная научным работником Пулковской обсерватории проф. Н. Н. Павловым установка для автоматической регистрации прохождения звёзд через меридиан с помощью фотоэлемента. За эту работу проф. Павлов удостоен в 1947 г. Сталинской премии.

§ 12. Летосчисление и календарь

Большие промежутки времени неудобно измерять сутками. Правильное периодическое чередование времён года — весны, лета, осени и зимы — издавна послужило человеку для установления более крупной единицы времени — года.

Однако год не содержит целого числа более мелких единиц — суток. В этом заключается особенность измерения времени сравнительно с измерением других величин (длины, веса), в отношении которых установлена одна основная единица (метр, грамм), а бóльшие и меньшие меры берутся в кратном к ней отношении. Сутки же и год определяются не нашим произволом, а периодической повторяемостью природных явлений, связанных с двумя движениями Земли. Между тем для счёта времени надо всё-таки употреблять такой год, в котором всегда было бы целое число суток. Для этого понадобилось вводить условный год и устанавливать правила счёта дней и годов, т. е. то, что называется календарём. Условный календарный год должен возможно меньше отличаться от так называемого тропического, в течение которого происходит смена времён года.

Появление календаря и его последующее усовершенствование тесно связаны с производственными потребностями. Но на всей истории календаря оставили свои следы также религиозные и мифические наслоения, искажавшие истинный характер и назначение летосчисления (связь с днями, посвящаемыми различным божествам, установление разных обрядов, религиозных праздников и пр.).

У восточных народов преобладали лунные календари, в которых за основу календарного счёта брался месяц как период смены фаз Луны, но он тоже не включает в себе целого числа суток. Современный же календарь, принятый в громадном большинстве стран, солнечный и ведёт своё начало от египетского календаря.

Египетским астрономам уже более 2000 лет назад было известно, что продолжительность тропического года составляет около $365\frac{1}{4}$ суток. Однако в разных странах летосчисление долгое время велось так, что длина календарного года сильно отличалась от этого числа. Несоответствие календаря с временами года нарушало производственный распорядок. Например, праздник жатвы стал приходиться на зиму, перепутывались сроки взимания налогов и пр. Всё это вызвало необходимость упорядочения календаря. В 46 году до нашей эры римским прави-

телем Юлием Цезарем с помощью астронома Созигена, хорошо знакомого с египетским календарём, была произведена календарная реформа и введён календарь, получивший название юлианского. Созиген предложил принять продолжительность тропического года в 365 суток 6 часов, причём, для того чтобы каждый год содержал целое число суток, считать три года по 365 суток, в четвёртом же — 366 суток. Так были установлены простые и високосные годы. В дальнейшем и было принято правило считать високосным годом всякий, число которого делится на четыре. Деление на месяцы оставлено такое же, каким оно было в древнем римском календаре, по 30 и 31 дню за исключением февраля — с 28 или 29 днями.

Принятая в юлианском календаре продолжительность тропического года оказалась неточной, и за большой промежуток времени расхождение календарного счёта с наступлением времён года стало очень велико.

Следующая реформа календаря была проведена в 1582 году нашей эры. Поводом для этого послужили затруднения в назначении христианского праздника пасхи. Дело в том, что решением так называемого Никейского собора, происходившего в 325 году нашей эры, пасха должна праздноваться в первое воскресенье после полнолуния, следующего за днём весеннего равноденствия. Это, между прочим, указывает на производственное происхождение самого этого праздника, взятого христианами из религий восточных народов и связанного с наступлением весны, оживлением природы и началом весенних работ. В год Никейского собора весеннее равноденствие приходилось на 21 марта, что соответствует началу весны. Но по юлианскому календарю продолжительность года в среднем была 365 д. 6 ч., а действительный тропический год несколько короче, а именно 365 д. 5 ч. 49 м. (с точностью до 1 мин.). За 400 лет накапливается ошибка почти в 3 суток. Так как юлианский календарный год длиннее, то весеннее равноденствие наступало всё в более ранние числа по календарю, и к 1582 году весеннее равноденствие приходилось уже не на 21 марта, а на 11 марта, т. е. расхождение достигло 10 дней. Распоря-

жением римского папы Григория XIII было произведено исправление календаря. Так как календарный счёт отстал, то приказано было прибавить к счёту чисел 10 дней: 5 октября приказано было считать 15 октября. В дальнейшем оставлен тот же счёт с чередованием трёх простых и четвёртого високосного годов, как и по юлианскому календарю. Для устранения накапливающейся за 400 лет ошибки в 3 суток введено дополнительное правило, касающееся вековых годов, т. е. число которых оканчивается двумя нулями. Все числа, оканчивающиеся двумя нулями, как известно, делятся на четыре, а потому все такие годы по юлианскому календарю считаются високосными. По новому же, как его стали называть, григорианскому календарю не все такие годы считаются високосными, а только те, у которых число сотен делится на четыре. Таким образом, 1600 год был високосным по тому и другому календарям, а уже 1700 год по юлианскому календарю високосный, а по григорианскому простой, так как число 17 не делится на четыре, и юлианский счёт с 1700 года отстал ещё на один день; расхождение составило уже 11 дней и оставалось таким в течение всего XVIII века. Наступивший 1800 год по тем же соображениям был в григорианском календаре простым; расхождение достигло 12 дней. После 1900 года расхождение увеличилось ещё на 1 день и останется таким до 2100 года.

Юлианский календарь называют также старым стилем, а григорианский — новым стилем. Новый стиль, хотя он лучше согласуется со сменой времён года, не сразу был введён в различных странах. В нашей стране царское правительство и тесно связанная с ним церковь всячески сопротивлялись переходу на новый стиль, несмотря на многочисленные попытки научных кругов ввести этот более согласующийся с природой счёт. Только вскоре после Великой Октябрьской социалистической революции Советская власть, отделившая церковь от государства и уничтожившая какое бы то ни было её влияние, разрешила вопрос о календаре. 25 января 1918 года В. И. Лениным был подписан декрет, по которому предписывалось считать 14 февраля вместо 1 февраля 1918 г.

Таким образом, в 1918 году у нас было не 365 дней, а 352 дня.

Чтобы перевести дату какого-нибудь события старого стиля на новый, надо прибавить к дате старого стиля столько дней, какова была разница между новым и старым стилями в том столетии. Например, дата рождения В. И. Ленина 10 апреля 1870 г. по старому стилю, по новому же стилю — это 22 апреля; Великая Октябрьская социалистическая революция произошла 25 октября 1917 г. по старому стилю, а празднуем мы этот день 7 ноября по новому стилю.

Когда мы говорим «наша эра», мы имеем в виду начало счёта годов. У нас этот счёт введён только при Петре I, а до того считали от мифической даты сотворения мира. Вообще же в разных странах и в разные времена существовали самые разнообразные эры. Все они либо связаны с именами царей, либо берут начало от мифических и легендарных событий. Такой же мифической является и наша эра, которую связывают с рождением Христа, в истории не существовавшего. А введена она была неким монахом Дионисием Малым. Определённый год, когда он жил, он предложил считать 532-м годом от этого никому не известного события. Выбрано же было это число им потому, что оно было удобно для определений дат христианских праздников и других расчётов, связанных с астрономическими явлениями.

В астрономических вычислениях оказался удобным особый непрерывный счёт дней, так называемый юлианский период, за начало которого принято 1 января 4713 года до нашей эры. Это — произвольно выбранный, но столь далёкий момент, чтобы все исторические даты были позже него. Выражается юлианский счёт дней обычно числом дней от этого начала. Например, 1 января 1954 года соответствует 2 434 744-му юлианскому дню. Таблицы юлианских дней помещаются в астрономических ежегодниках.

ГЛАВА IV

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ. ЛИНИЯ ПЕРЕМЕНЫ ДАТЫ

Положение каждого места на Земле, как известно, определяется его двумя координатами: широтой и долготой.

Широта обозначается буквой φ и отмеряется от экватора по меридиану, а долгота обозначается буквой λ и отсчитывается по экватору или по параллели от начального меридиана. Широта различается *северная* (для всех мест северного полушария Земли) и *южная* (для всех мест южного полушария). За начальный меридиан, как уже говорилось, принят по международному соглашению тот, который проходит через астрономическую обсерваторию в Гриниче, местечке близ Лондона.

Долготу отсчитывают или в одну сторону на восток от 0 до 360° или в обе стороны от 0 до 180° и в последнем случае различают *восточную* (отсчитываемую к востоку) и *западную* (отсчитываемую к западу) долготы. Зная широту и долготу того или иного места на Земле, мы можем разобраться, где мы находимся, можем нанести его на карту и видеть его положение по отношению к другим пунктам. Определения долготы и широты производятся путём наблюдений и измерений положений небесных светил.

Чтобы ознакомиться со способами, какими находятся широта и долгота места по положению светил на небесной сфере, надо уяснить себе, как меняется вид звёздного неба при изменении места на Земле, с которого мы наблюдаем небо.

§ 13. Измерение широты

Всякий, кому приходилось бывать, положим, на Украине, на Кавказе или в Ленинграде, Мурманске, легко мог заметить, что на севере, где широта больше, Полярная звезда стоит выше над горизонтом, а чем южнее, чем широта меньше, тем ниже Полярная опускается к горизонту. Суточные параллели звёзд имеют соответственно различный наклон к горизонту.

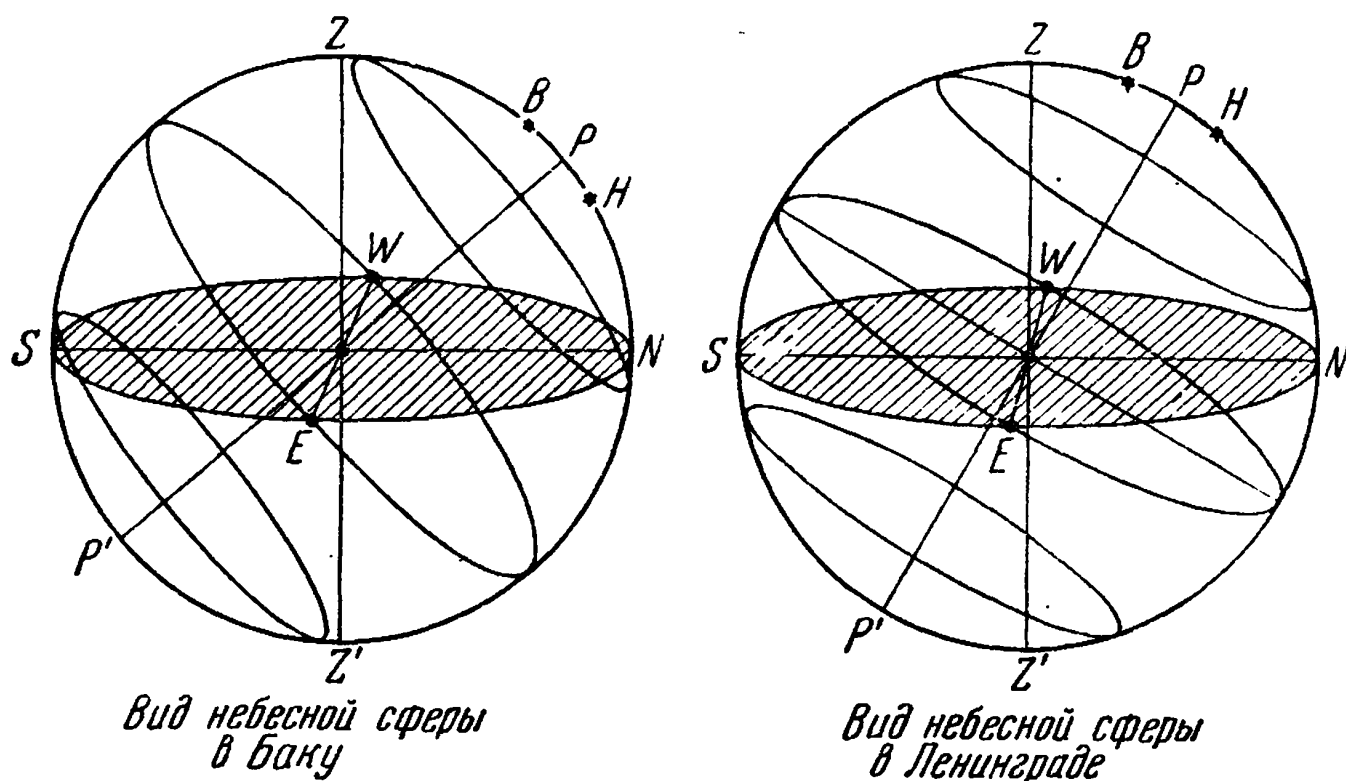


Рис. 38.

На рис. 38 для примера показан сравнительный вид небесной сферы в Баку (широта 40°) и в Ленинграде (широта 60°). Та звезда, которая в Баку заходит на некоторое время, в Ленинграде круглые сутки находится над горизонтом. В Баку появляются над горизонтом те звёзды южного полушария, которые в Ленинграде круглые сутки под горизонтом и совсем не могут быть видимы там.

Таким образом, уже один общий вид неба, наблюдение над суточным вращением, определение положения полюса и оси мира по отношению к горизонту дают нам возможность судить, на каких широтах Земли мы находимся.

Рассмотрев подробнее зависимость между широтой места и высотой полюса, мы получим более точные способы определения широты.

Отметим на земном шаре его ось вращения, экватор и место M , где находится наблюдатель (рис. 39). Дуга AM земного меридиана даёт нам широту места M на Земле; она соответствует углу при центре Земли MOA . Прямая линия OM , представляющая собой радиус Земли, даёт направление вертикали в месте наблюдения и идёт к его зениту Z . Проведя перпендикуляр к вертикали MZ в точке M , мы получаем направление плоскости горизонта в этом месте. Ось мира, или ось видимого суточного вращения неба, должна быть параллельна оси Земли, потому что её направление и есть то направление, около которого происходит действительное вращение Земли и ко-

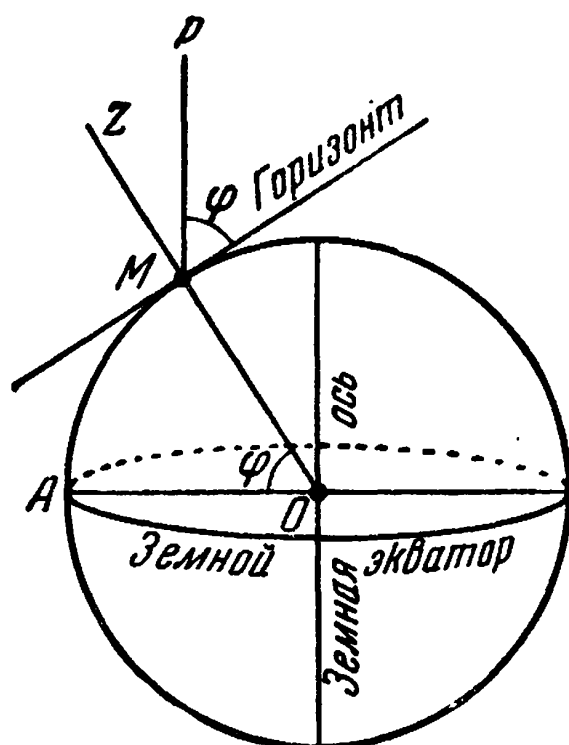


Рис. 39.

торое не меняется от того, что наблюдатель переходит с одного места поверхности Земли на другое. Проведя ось мира из точки M параллельно оси вращения Земли, мы видим, что угол, обозначающий наклон оси мира к горизонту, равен по своей величине углу MOA при центре Земли, который обозначает широту места. Наклон же оси мира к горизонту равен высоте полюса мира над горизонтом.

Получаем простое, но очень важное соотношение: *широта места на Земле равна высоте полюса мира на небесной сфере*. Следовательно, если мы хотим точно определить широту места, надо только измерить высоту полюса мира.

Если принять во внимание, что форма Земли отступает от шаровой, то и тогда равенство географической широты и высоты полюса мира остаётся в силе. Только в этом случае вертикаль, продолженная внутрь Земли,

вообще не пройдёт через центр Земли. Но географическая широта, равная углу между вертикалью и плоскостью экватора, и здесь, как это видно из рис. 40, равна высоте полюса мира над горизонтом.

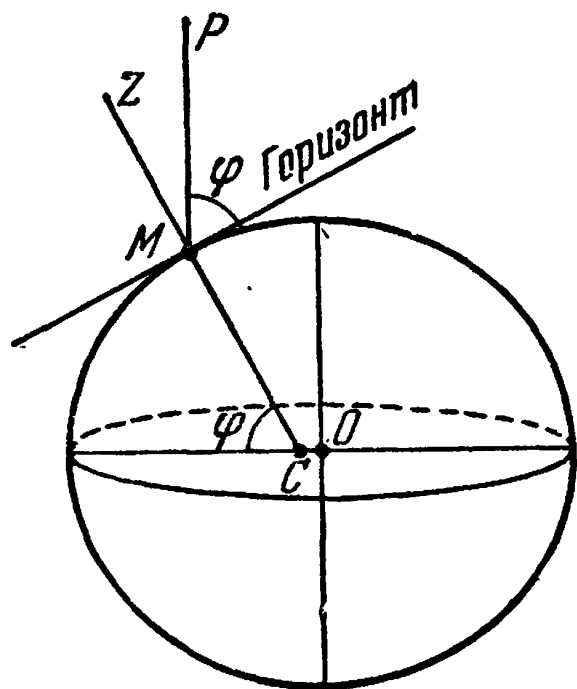


Рис. 40.

Если считать, что Полярная звезда указывает нам полюс мира, то приближённо высота Полярной даёт нам широту места. Но Полярная находится от полюса на расстоянии 1° . Зная это, можно более точно определить широту, если измерять высоту Полярной в момент её верхней или нижней кульминации. Высоту полюса, а стало быть, и широту, мы получим, прибавив 1° к высоте

Полярной в нижней кульминации или отняв 1° от высоты её в верхней кульминации (рис. 38). Об определении географической широты места по измерению высоты Полярной рассказано в Приложении XIX.

Надо уметь определять широту места и по любому светилу, по любой звезде на небе. Надо выбрать такую звезду, которая близка к меридиану, т. е. к кульминации. В самый момент кульминации, т. е. когда звезда придёт как раз на меридиан, можно измерить её высоту, а по ней, зная склонение звезды, вычислить и широту места.

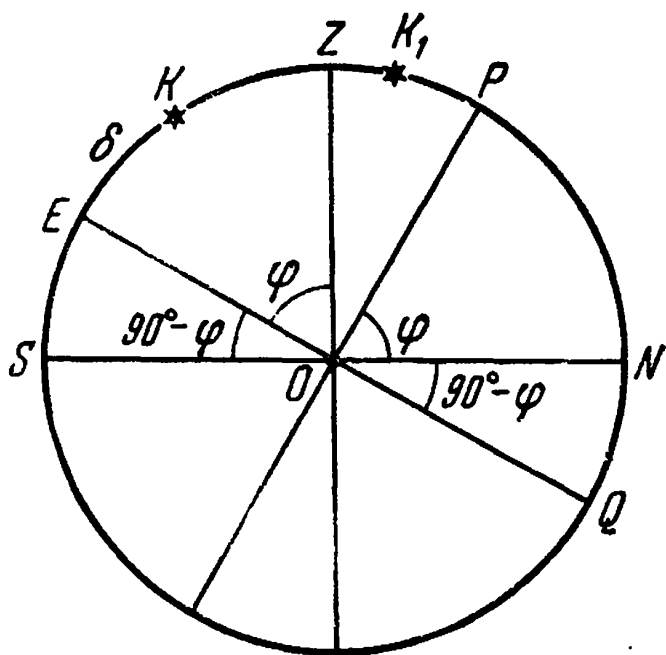


Рис. 41.

Возьмём уже знакомое нам сечение небесной сферы плоскостью меридиана (рис. 41). Высота полюса мира (дуга PN или угол PON) даёт широту φ , угол NOQ , равный $90^\circ - \varphi$, даёт наклон плоскости небесного экватора

к плоскости горизонта. Пусть звезда кульминирует в точке K . Дуга KE обозначает дуговое расстояние от звезды до экватора, т. е. склонение звезды δ . Если же взять дугу KS , то она даст дуговое расстояние от звезды K до горизонта, т. е. высоту звезды h .

Совершенно очевидно из чертежа, что

$$h = \delta + 90^\circ - \varphi,$$

откуда

$$\varphi = \delta + 90^\circ - h.$$

По этой формуле мы и можем вычислять широту. При этом h мы измеряем угломерным инструментом, а δ берём с карты или из каталога.

Пример. Измеренная в момент верхней кульминации высота звезды Веги (созвездие Лиры) оказалась равной 70° , склонение же Веги, как видно по звёздной карте, равно $+40^\circ$. Подставляем эти значения в формулу и находим:

$$\varphi = 40^\circ + 90^\circ - 70^\circ = 60^\circ.$$

Если высота измерена, то известно и зенитное расстояние, которое всегда дополняет высоту до 90° . Если ввести в формулу зенитное расстояние вместо высоты, то получим:

$$90^\circ - z = \delta + 90^\circ - \varphi$$

или

$$\varphi = \delta + z.$$

Это хорошо видно на рис. 41, где дуга $ZE = \varphi$, дуга $KE = \delta$ и дуга $KZ = z$.

В приведённом выше примере $h = 70^\circ$, стало быть,

$$z = 90^\circ - 70^\circ = 20^\circ.$$

Подставляя эти значения в нашу вторую формулу, получаем:

$$\varphi = 40^\circ + 20^\circ = 60^\circ.$$

Надо заметить, что приведённая формула справедлива, когда звезда кульминирует к югу от зенита. Если

же звезда имеет верхнюю кульминацию к северу от зенита (на рис. 41 K_1), то склонение такой звезды больше φ , и вторую формулу придётся написать так:

$$\varphi = \delta - z.$$

Оба случая можно объединить одной формулой:

$$\varphi = \delta \pm z.$$

Пример. Измеряем высоту звезды α Б. Медведицы в момент её верхней кульминации и находим $h = 82^\circ$, а значит, зенитное расстояние $z = 8^\circ$. При этом мы замечаем, что эта звезда кульминирует к северу от зенита. Поэтому для вычисления употребляем формулу

$$\varphi = \delta - z.$$

Значение δ берём с карты или из таблиц, а именно: $\delta = +62^\circ$. Подставляем эти числа в нашу формулу и получаем:

$$\varphi = 62^\circ - 8^\circ = 54^\circ.$$

По мере нашего продвижения к северу полюс мира поднимается над горизонтом, и соответственно меняются видимые суточные круговые пути на небе у всех звёзд. Их наклон к горизонту всё уменьшается. От высоты полюса мира над горизонтом и положения видимых суточных кругов зависит, какие звёзды для данного места

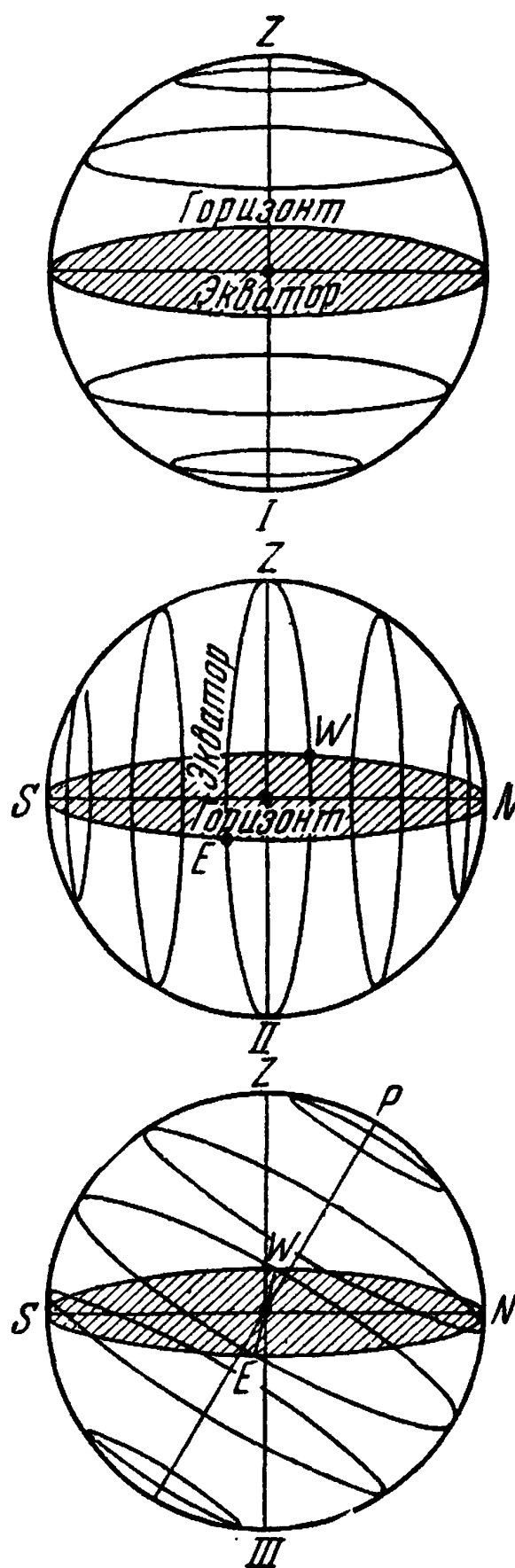


Рис. 42.

совсем не будут заходить и, значит, будут видимы на небе во всякое время ночи. Точно так же на данной широте определённые звёзды будут восходить и заходить, а дру-

гих звёзд мы никогда не сможем видеть, так как они совершают своё суточное вращение всё время под горизонтом, не восходя. Легко видеть, что для места с широтой φ всякое светило, у которого $\delta > 90^\circ - \varphi$, является незаходящим.

Например, на широте 60° (в Ленинграде) полюс мира поднимается на 60° над горизонтом. Звезда α Андромеды имеет склонение около $+30^\circ$ и отстоит от полюса на $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$. Поэтому она на широте 60° почти касается горизонта в нижней кульминации и весь свой видимый суточный путь совершает над горизонтом. Всякая звезда, имеющая склонение больше 30° , находится ещё ближе к полюсу и является звездой, не заходящей в этом месте. Если же склонение звезды меньше 30° , то она имеет большее, чем 60° , расстояние от полюса, а потому является заходящей звездой и в нижней кульминации находится под горизонтом.

Рассматривая подобным же образом расположение звёзд в южном небесном полушарии, мы видим, что при суточном вращении коснётся горизонта с южной стороны звезда, имеющая склонение -30° (например, одна из звёзд созвездия Скорпиона). Всякая же звезда, у которой южное склонение численно больше 30° (ближе к южному полюсу), будет на широте Ленинграда невосходящей.

Чтобы яснее было, как меняется вид неба с изменением широты, изобразим его (рис. 42) для наблюдателя, находящегося на полюсе Земли, — *I*, на экваторе Земли — *II* и на промежуточной широте, например 60° С, — *III*.

Для приближённого определения широты места по высоте звезды можно использовать упрощённый высотомер. (См. Приложение XXI.)

§ 14. Измерение долготы

В сообщениях о первомайских демонстрациях или всенародном празднике Великого Октября в нашей обширной стране мы нередко читаем, что Москва ещё спит, погружённая в ночную тьму, а на Дальнем Востоке, в Восточной Сибири уже утро, улицы заполнены народом,

демонстрирующим мощь и единство всей нашей многонациональной страны. Время передаётся из Москвы по радио для Дальнего Востока в 1 час. ночи. А радиопередачи, организуемые у нас для западных стран, большей частью ставятся поздно ночью, так как у них в это время ещё вечер.

Чем дальше к востоку находится на Земле данное место, тем раньше там восходит Солнце, наступает полдень, а стало быть, и полночь (начало суток); там время идёт впереди по сравнению с временем мест, лежащих западнее. Это и понятно, если вспомнить, что земной шар всё время вращается с запада на восток, а для наблюдателя Солнце и все небесные светила поднимаются над горизонтом с восточной стороны. Отсюда становится ясной связь между долготой места и временем в этом месте. Эта-то связь и даёт возможность измерять долготу того или другого пункта на земной поверхности.

Измерение долготы основано на том, что *разность местных времён равна разности долгот, выраженной в часах.*

Имея более или менее точно идущие часы или хронометр, поставленные по всемирному времени и выверенные по радиосигналам, мы можем определить долготу места. Для этого из наблюдений над звёздами или Солнцем находится местное среднее время. Разница его с показанием хронометра и даст долготу места.

Пример. Местное время, полученное из наблюдений $T_m = 12$ ч. 20 м., а хронометр показывает, что в этот момент всемирное время $T_v = 10$ ч. 45 м. Значит, долгота

$$\begin{aligned}\lambda &= T_m - T_v = 12 \text{ ч. } 20 \text{ м.} - 10 \text{ ч. } 45 \text{ м.} = \\ &= 1 \text{ ч. } 35 \text{ м.} = 23^\circ 45' \text{ В.}\end{aligned}$$

Не обязательно иметь часы, идущие по всемирному времени. Можно иметь часы, идущие по московскому времени (декретному), и, зная, что оно соответствует времени третьего пояса, средний меридиан которого проходит по долготе 45° , можно по разности времён местного и московского найти долготу данного места.

Рассмотрим предыдущий пример. Если хронометр по всемирному времени показывал 10 ч. 45 м., то по московскому времени он показывал 13 ч. 45 м. и разность долгот составляла 12 ч. 20 м. — 13 ч. 45 м. = — 1 ч. 25 м. = — $21^{\circ}15'$, т. е. это место западнее меридиана 45° на $21^{\circ}15'$ и его долгота равна: $45^{\circ} - 21^{\circ}15' = 23^{\circ}45'$ В.

Как видно, точность измерения долготы зависит от той точности, с какой производится определение времени.

§ 15. Линия перемены даты

Сутки, а значит, и следующее календарное число, начинаются в каждом месте в полночь. В различных же местах, отличающихся по долготе, сутки начинаются в разное время: чем восточнее место, тем раньше наступает там полночь. Если человек отправится в восточном направлении, например из Москвы (II пояс), и прибудет в тот же день в Свердловск (IV пояс), то он начнёт сутки с москвичами, а закончит их со свердловцами, у которых полночь наступит на 2 часа раньше. У нашего путешественника продолжительность суток окажется не 24 часа, а 22 часа. Если отправиться не к востоку, а к западу, то сутки окажутся продолжительнее 24 час.

Представим себе, что на начальном меридиане — полночь с 21 марта на 22 марта. В I поясе в это время — 1 час утра 22 марта, а в XXIII поясе 11 час. вечера 21 марта; во II поясе 2 часа утра 22 марта, а в XXII поясе 10 час. вечера 21 марта и т. д. Мы придём к тому, что на среднем меридиане XII пояса (долгота 180°) будет с одной стороны 12 часов дня 22 марта, а с другой — 12 часов дня 21 марта. Следовательно, даты в соседних местах по обе стороны этого меридиана должны отличаться на сутки. Меридиан этот проходит между Азией и Америкой по Тихому океану, т. е. по почти ненаселённому месту. К меридиану 180° и отнесена линия перемены даты. Пересекая эту линию с запада на восток, следует с полуночи повторять предшествовавшую дату. Например, после 1-го числа считать опять 1-е. Пересекая же её с востока на запад, следует с полуночи

пропускать сутки, т. е., например, после 1-го считать не 2-е, а 3-е.

Практически линия перемены даты (называемая иногда демаркационной линией) проходит не точно по меридиану 180° , а местами уклоняется, огибая мысы, острова и пр., не пересекая сушу. В СССР она проходит у восточного берега Чукотского полуострова. На самой восточной точке Чукотского полуострова в нашей стране и начинается раньше всего новая дата, а значит, и новый год.

ГЛАВА V
ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА НЕБА В ТЕЧЕНИЕ ГОДА.
ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЁЗДНОГО НЕБА.
АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КАЛЕНДАРИ
(ЕЖЕГОДНИКИ)

§ 16. Изменение вида неба в течение года

Повседневные наблюдения показывают, что полуденная высота Солнца изменяется в зависимости от времени года, — одновременно меняется долгота дня, время и место восхода и захода Солнца. Вместе с тем вечерами в разное время года мы видим различное расположение созвездий. Некоторых созвездий, наблюдавшихся в одно время года, в другое время мы не увидим совсем; зато появятся другие созвездия, которые раньше не были видны.

Если мы наблюдаем изменение полуденной высоты Солнца, всё время находясь на одном и том же месте Земли, то это значит, что меняется склонение Солнца. Склонение Солнца легко определить для каждого дня, пользуясь знакомой нам уже формулой, дающей высоту светила в момент верхней кульминации (для Солнца это — полдень):

$$h = \delta + 90^\circ - \varphi.$$

Начнём измерять полуденную высоту Солнца с дня весеннего равноденствия, 21 марта, например, в Москве (рис. 43), где широта равна круглым числом 56° . Измерения дают для высоты значение 34° . Подставим h и φ в формулу, получим:

$$34^\circ = \delta + 34^\circ.$$

Следовательно, $\delta = 0$.

Это значит, что центр Солнца в это время находится на небесном экваторе. Через 2—3 дня полуденная высота оказывается около 35° , и формула даёт $35^\circ = \delta + 34^\circ$, откуда $\delta = +1^\circ$. Солнце находится в северном полушарии на расстоянии 1° от экватора. Увеличиваясь с каждым днём, полуденная высота Солнца в Москве доходит

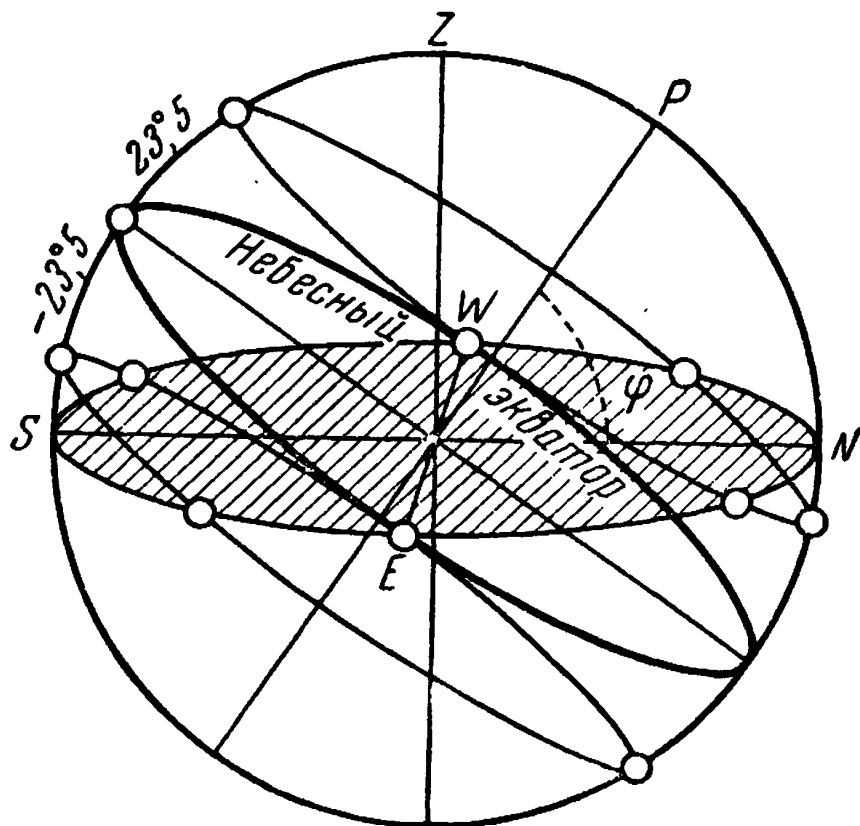


Рис. 43.

к 22 июня до $57^\circ,5$. Теперь из этой же формулы мы получаем:

$$57^\circ,5 = \delta + 34^\circ, \quad \delta = +23^\circ,5.$$

Это — наибольшая высота Солнца и соответственно наибольшее значение склонения Солнца.

После 22 июня Солнце в полдень оказывается с каждым днём все ниже. На 1° полуденная высота Солнца уменьшается приблизительно через две недели. На столько же соответственно уменьшается и склонение Солнца. К 23 сентября высота Солнца в полдень станет 34° , а значит, склонение его дойдёт опять до 0° . Солнце вновь пересекает небесный экватор, но уже в точке осеннего равноденствия. Осеннее равноденствие — это только начало осени. Солнце и после 23 сентября с каждым по-

луднем оказывается всё ниже и ниже: например, через месяц (22 октября) измерение полуденной высоты в Москве даёт 23° . Вычислением после подстановки в нашу формулу этой высоты находим:

$$23^\circ = \delta + 34^\circ, \text{ или } \delta = -11^\circ.$$

Знак минус показывает, что Солнце находится по другую сторону экватора в южном небесном полушарии. Высота Солнца в полдень продолжает уменьшаться до 22 декабря. В этот день в Москве она равна $10^\circ,5$, а склонение $\delta = -23^\circ,5$. После этого мы наблюдаем опять, как Солнце в полдень поднимается с каждым днём всё выше — сначала медленно, а потом скорее и скорее. Наконец, к 21 марта, дню нового весеннего равноденствия, Солнце снова приходит на экватор, совершив, таким образом, весь видимый годовой путь по небесной сфере, с тем чтобы опять повторять такое же движение.

Одновременно меняется прямое восхождение Солнца, в чём мы можем убедиться, наблюдая, какие звёзды кульминируют в полночь. Ведь это как раз звёзды, расположенные в области неба, противоположной Солнцу.

В начале весны, когда Солнце находится на экваторе в точке весеннего равноденствия, в полночь кульминируют звёзды, противоположные Солнцу и имеющие прямое восхождение 180° , или 12 час. Такими звёздами являются сравнительно слабая звёздочка третьей величины α Девы и близкая к ней звезда второй величины β Льва на южной стороне неба (см. карту в конце книги). В последующие ночи мы будем замечать, что в полночь эти звёзды уже не будут в кульминации. С каждой полночью они будут всё более удаляться к западу. Недели через две-три в полночь на меридиане будет уже звезда первой величины α Девы, имеющая прямое восхождение почти 13,5 часа. Через месяц, 25 апреля, около полуночи кульминирует знакомая уже нам яркая звезда α Волоса — Арктур — с прямым восхождением 14 ч. 13 м. Так как в каждую полночь кульминируют противоположные Солнцу звёзды, то это значит, что Солнце бывает то против одних, то против других звёзд, т. е. всё время

перемещается по небесной сфере в направлении, противоположном видимому суточному вращению звёзд.

21 марта прямое восхождение Солнца равно нулю: в течение каждого месяца оно возрастает примерно на 2 часа, к 22 июня прямое восхождение Солнца достигает 90° , или 6 час., к 23 сентября — 180° , или 12 час., к 22 декабря — 270° , или 18 час., и, наконец, 21 марта — 360° , или 24 часа.

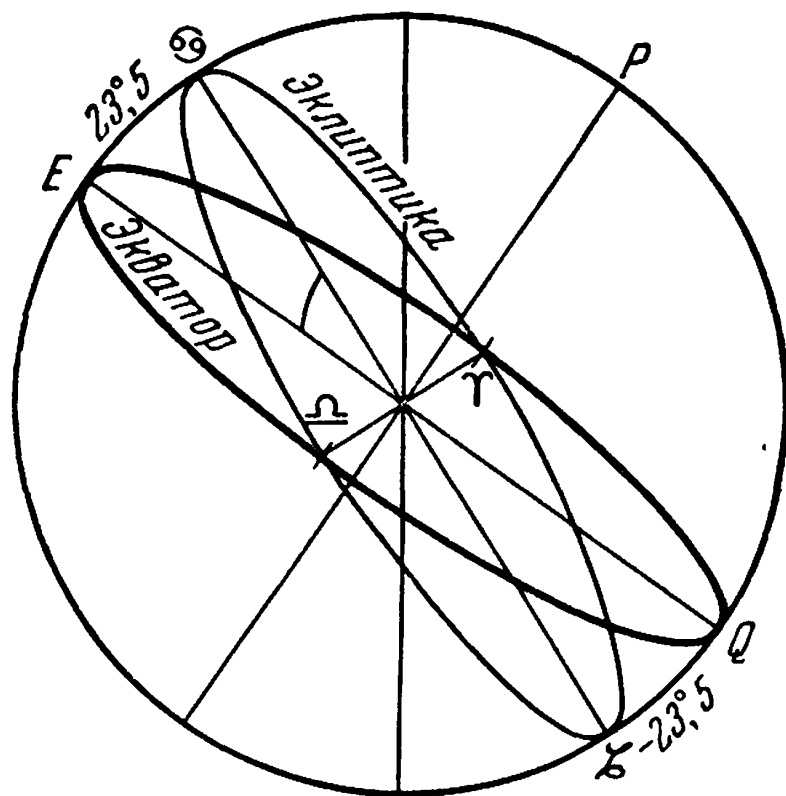


Рис. 44.

Как мы уже видели, Солнце имеет наибольшее северное и южное склонение $23^\circ,5$. Это показывает, что круг эклиптики наклонён к экватору под углом $23^\circ,5$, точнее $23^\circ 27'$. Он пересекает экватор в двух точках, называемых точками равноденствий. Одна половина эклиптики лежит в северном небесном полушарии, другая в южном. На эклиптике находятся четыре основные

точки: точка весеннего равноденствия γ , точка летнего солнцестояния ☉ , точка осеннего равноденствия ♎ , точка зимнего солнцестояния ☿ (рис. 44). Это — знаки тех созвездий, в которых находились эти точки во времена древних греков (около 2000 лет назад): γ — знак созвездия Овна, ☉ — созвездия Рака, ♎ — созвездия Весов, ☿ — созвездия Козерога. Отсюда же и название тропиков: когда Солнце в то время находилось в созвездии Рака, то оно было в полдень в зените на северной широте $+23^\circ 27'$, т. е. на северном тропике, и имело наибольшее положительное склонение; через полгода Солнце перемещалось в созвездие Козерога, было в зените в полдень на южной широте — $23^\circ 27'$, т. е. на южном тропике, и имело наибольшее отрицательное склонение.

За 2000 лет основные точки вследствие так называемой прецессии переместились в соседние созвездия.

Теперь точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб, точка летнего солнцестояния — в созвездии Близнецов, точка осеннего равноденствия — в созвездии Девы, точка зимнего солнцестояния — в созвездии Стрельца. Названия же основных точек эклиптики остались прежние.

Всё это мы можем представить табличкой:

	Координаты		Дата
	δ	α	
1. Весеннее равноденствие	0°	0 ч.	21 марта
2. Летнее солнцестояние	$+23^\circ 27'$	6 ч.	22 июня
3. Осеннее равноденствие	0°	12 ч.	23 сентября
4. Зимнее солнцестояние	$-23^\circ 27'$	18 ч.	22 декабря

Эклиптика расположена на небе среди созвездий, носящих большей частью названия животных. Весь пояс этих созвездий называется поэтому *зодиаком* (от греческого слова «зоон» — животное), а созвездия, которые расположены вдоль эклиптики, называются *зодиакальными*. По всему кругу эклиптики таких созвездий двенадцать (см. рис. 15, стр. 39). Их мы можем найти на звёздной карте.

Если бы днём на небе были видны звёзды, то мы могли бы наблюдать, как Солнце в течение года последовательно переходит из одного зодиакального созвездия в другое. Каждому времени года соответствуют три созвездия.

Солнце проходит по созвездиям: Рыбы, Овен, Телец — весной; Близнецы, Рак, Лев — летом; Дева, Весы, Скорпион — осенью и Стрелец, Козерог, Водолей — зимой. Ночью соответственно видны над горизонтом в южной стороне неба противоположные им созвездия: весной — Дева, Весы, Скорпион; летом — Стрелец, Козерог, Водолей; осенью — Рыбы, Овен, Телец; зимой — Близнецы, Рак, Лев.

В зависимости от положения Солнца на эклиптике изменяется дневная дуга видимого суточного вращения Солнца, его полуденная высота, точки и моменты восхода и захода, продолжительность дня и ночи, как это описано выше.

Чем круче падают на Землю солнечные лучи, тем сильнее нагревается земная поверхность. Поэтому в связи с изменением полуденной высоты Солнца у нас изменяются времена года. Правда, наибольшая высота Солнца у нас бывает в июне, а наиболее жаркий месяц — июль. Но это происходит потому, что Земля нагревается постепенно, и запасы тепла продолжают увеличиваться в июле, когда Солнце поднимается ещё достаточно высоко. Аналогичное явление наблюдается зимой: наиболее низкая высота Солнца в декабре, а самый холодный месяц — январь.

Для различных мест на различных широтах эти явления будут отличаться друг от друга.

Возьмём, например, Ереван с широтой около 40° и Ленинград с широтой около 60° . В один и тот же день летнего солнцестояния в Ленинграде в полдень Солнце стоит ниже, чем в Ереване, и потому там бывает не так жарко. Но восходит и заходит Солнце в Ленинграде ближе к северу, а потому дневная дуга тут больше, чем в Ереване, день длиннее, и разница между продолжительностью дня и ночи больше.

Вспомним условие, при котором светило для данного места не заходит: $\delta > 90^\circ - \varphi$. При склонении Солнца $+23^\circ 27'$ (день летнего солнцестояния) на широте $66^\circ 33'$ оно не заходит, а при склонении $-23^\circ 27'$ (день зимнего солнцестояния) Солнце здесь совсем не восходит.

Земная параллель, проходящая на широте $66^\circ 33'$, носит название *полярного круга*. На широтах, больших $66^\circ 33'$, полярный день (время, когда Солнце совсем не заходит) и полярная ночь (в течение которой Солнце совсем не восходит) будут не только в день летнего солнцестояния ($\delta = 23^\circ 27'$), но до него и после него при склонениях Солнца, меньших $23^\circ 27'$. На самом полюсе ($\varphi = 90^\circ$) Солнце полгода остаётся над горизонтом и полгода — под горизонтом. Оно показывается там из-за горизонта в день весеннего равноденствия, поднимается всё выше, как бы по винтовой линии, достигает наибольшей высоты $23^\circ 27'$ к 22 июня, а затем также по винтовой линии опускается всё ниже и заходит 23 сентября, с тем

чтобы почти полгода не показываться над горизонтом. Вот почему говорят, что на полюсе полгода — день, полгода — ночь. Смены дня и ночи при суточном вращении неба на полюсе нет.

Чем дальше от полюса, тем меньше продолжительность полярного дня и полярной ночи, тем больше количество суток в году со сменой дня и ночи. Наконец, начиная с полярного круга, не бывает полярных дней и ночей, а смена дня и ночи происходит каждые сутки, как это имеет место у нас.

Нужно заметить, что в действительности все эти явления не происходят точно в те сроки, как здесь описано, вследствие преломления и рассеивания солнечных лучей земной атмосферой (рефракции, см. стр. 132), а также потому, что Солнце является не светящейся точкой, а диском. Благодаря рефракции мы видим светила не по тому направлению, по которому они действительно находятся, а выше. Поэтому на полюсе Солнце бывает видно в течение нескольких дней после своего теоретического захода и показывается раньше 21 марта. На полярных же кругах в дни солнцестояний весь диск Солнца в полдень и в полночь виден над горизонтом.

На экваторе Земли ($\varphi = 0^\circ$) горизонт делит все видимые суточные пути светил пополам, а потому там каждые сутки день равен ночи. При этом 21 марта и 23 сентября Солнце, находясь на небесном экваторе, в полдень бывает в зените, а 22 июня и 22 декабря полуденная высота Солнца наименьшая и равна $66^\circ 33'$ (если не учитывать рефракцию). На экваторе Земли нет, по существу, разницы между зимой и летом, наиболее жаркие дни связаны с наступлением весеннего и осеннего равноденствий.

Возьмём формулу высоты $h = \delta + 90^\circ - \varphi$. Если мы подставим в неё значения высоты Солнца в зените ($h = 90^\circ$) и наибольшего склонения Солнца ($\delta = +23^\circ 27'$), то получим $90^\circ = +23^\circ 27' + 90^\circ - \varphi$. Отсюда $\varphi = +23^\circ 27'$. Это самая большая широта, где Солнце может быть в зените в полдень и именно 22 июня. В другие дни Солнце может достигать зенита в широтах, соответственно меньших $23^\circ 27'$. Параллели, проходящие на

широте $\pm 23^{\circ}27'$, называются *тропиками*. Они расположены симметрично по обе стороны земного экватора в северном и южном полушариях. Ещё древние называли северный тропик тропиком Рака, а южный — тропиком Козерога. Весь пояс на поверхности Земли между тропиками, где солнечные лучи в полдень два раза в год падают отвесно, назван жарким. Пояса, окружающие каждый полюс Земли до полярных кругов и где могут быть полярные дни и ночи, а Солнце не поднимается выше $46^{\circ}54'$ над горизонтом, названы холодными. Между холодными и жаркими поясами расположены два умеренных пояса. Таким образом, на Земле различаются пять климатических поясов.

Мы говорили всё время о видимом движении Солнца. В действительности же происходит движение нашей Земли, которая за год совершает свой полный оборот вокруг Солнца, в то же время вращаясь около своей оси.

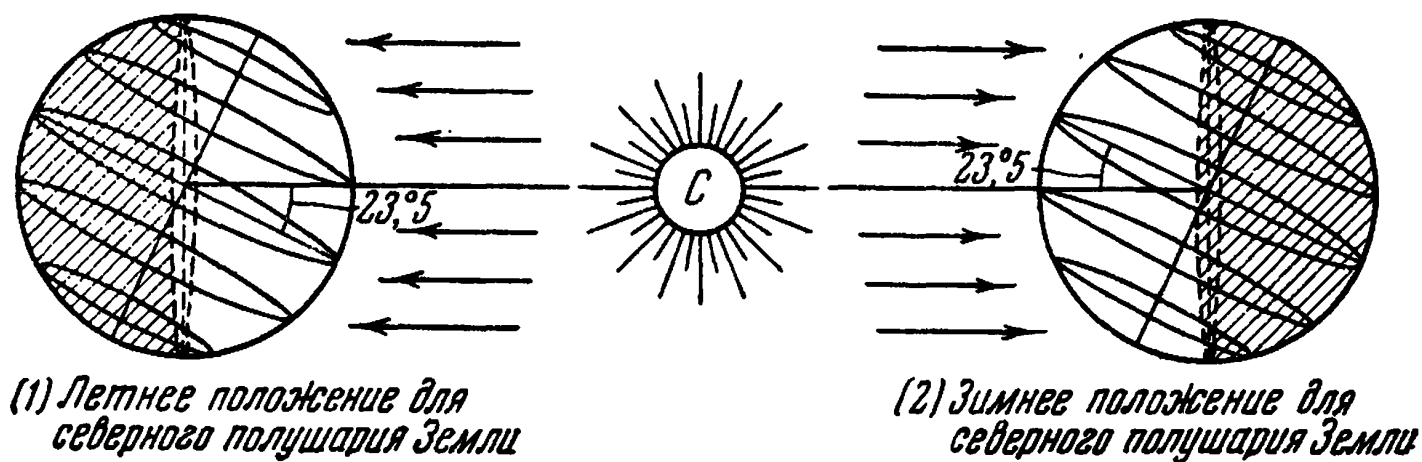


Рис. 45.

При этом ось вращения, сохраняя в пространстве неизменное направление, наклонена к плоскости земной орбиты так, что плоскость земного экватора составляет с этой плоскостью угол $23^{\circ}27'$. Этот наклон является причиной того, что при одном положении Земли на орбите (рис. 45, 1) лучи Солнца в северном полушарии падают более отвесно, чем в южном, и на нём наступает лето. Через полгода, когда Земля переходит в своём движении вокруг Солнца во второе положение (рис. 45, 2), солнечные лучи падают отвеснее уже в южном полушарии, а в северном наступает зима.

§ 17. Подвижная карта звёздного неба

Вид неба меняется не только в разные часы суток, но и в разные дни года и для разных мест на Земле по широте, а потому не все звёзды, изображённые на обычной карте, видны в данный день и час в данном месте.

Чтобы звёздная карта показывала нам каждый раз только те звёзды, которые видны на небе в данный момент и в правильном расположении по отношению к горизонту, устраивают так называемую подвижную карту звёздного неба, которую определённым поворотом подвижной части можно поставить на данный день и час.

Подвижная карта состоит из двух частей: вращающейся около полюса мира звёздной карты и неподвижно расположенного над ней круга горизонта. Эти две части приложены в конце книги (Приложение XVI); из них нужно сделать себе подвижную карту, наклеив их предварительно на тонкий картон.

На карте за кругом прямых восхождений начерчен круг несколько большего радиуса. Он разделён на месяцы, а каждый месяц разделён на пятидневки. Деление, приходящееся около нуля прямых восхождений, т. е. у начального круга склонений, проходящего через точку весеннего равноденствия, относится к 21 марта. Соответственно этому поставлены названия всех месяцев. Карту надо вырезать по самому внешнему кругу и прикрепить булавкой или тонким гвоздиком в полюсе мира к картонке или фанере. На накладываемом на карту листе вычерчен круг несколько меньшего радиуса так, чтобы при наложении он помещался внутри только что описанного внешнего круга на карте. Круг накладного листа разделён на 24 часа, а каждый час — на шесть частей, содержащих по 10 мин. Внутри него вырезается круг горизонта, на котором помечены север и юг, восток и запад. Вырез круга горизонта должен соответствовать широте места. Для этого начерчено несколько линий выреза для разных широт. В Москве можно пользоваться вырезом для широты 55° . Надо заметить, что звёздная карта на плоскости представляет ту или иную проекцию

небесной сферы, а проекция на плоскость, как уже говорилось, искажает так или иначе формы сферы, поэтому линия горизонта на карте в соответствии с выбранной проекцией изображается не точным кругом, а овалом. Сделав вырез для горизонта, мы не полностью обрезаем круг, на котором намечены часы, а оставляем четыре выступа для неподвижного прикрепления его к

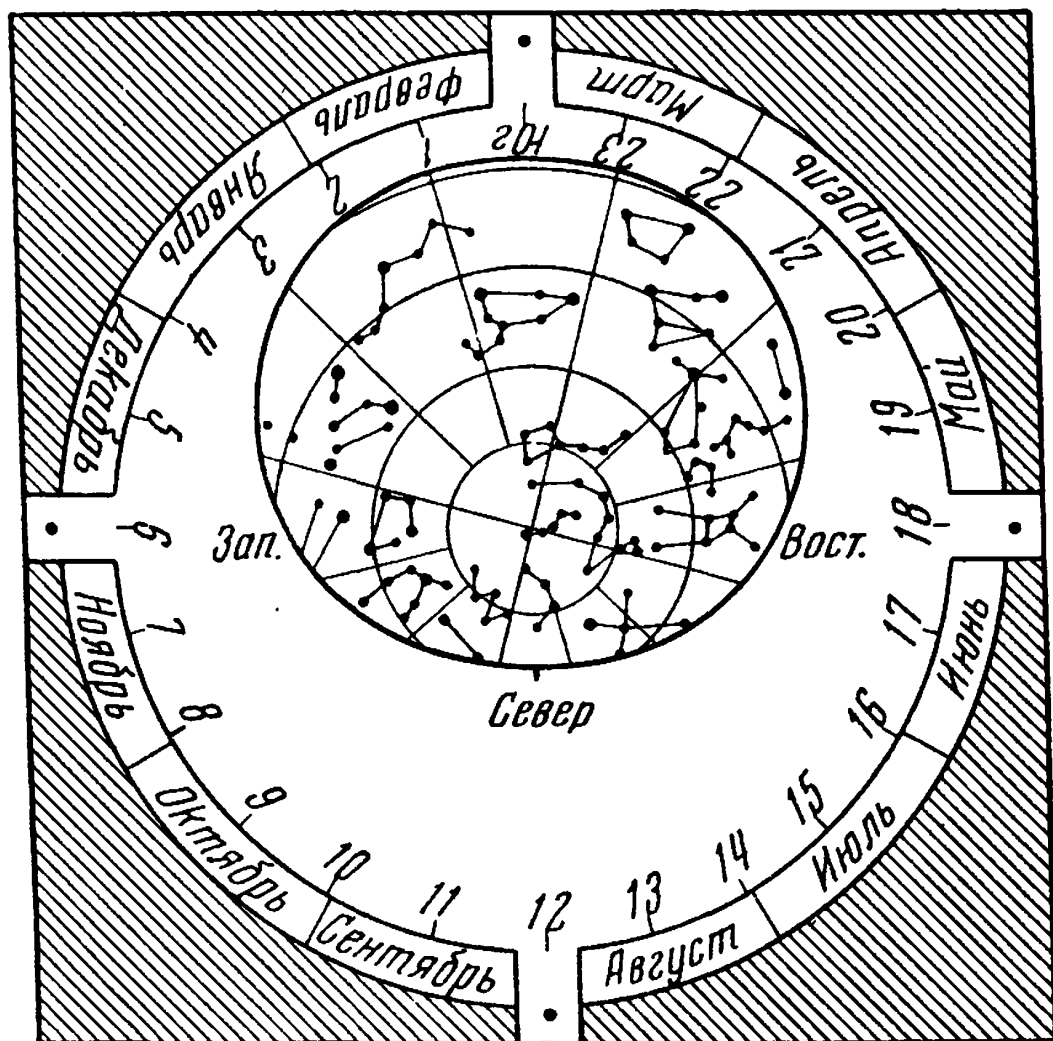


Рис. 46.

картону. После этого нужно наложить его на карту так, чтобы он поместился как раз внутри внешнего круга карты (общий вид карты показан на рис. 46).

Тогда в вырезе мы увидим картину звёздного неба, соответствующую определённому дню и часу. Меридиан пройдёт по линии, соединяющей точку севера и точку юга. Натянув по этой линии нить, мы увидим под ней звёзды, которые кульминируют в данный момент. По направлению, перпендикулярному к этой нити и проходящему через полюс, лежат точки востока и запада. У восточной части горизонта мы найдём восходящие

звёзды, а у западной — заходящие. Не следует только забывать, что карту надо представить расположенной над головой. Чтобы горизонт оставался неподвижным, надо концы выступов накладного круга прикрепить к нижнему картону. Таким образом, обе части (карта и наложенный на неё горизонт) окажутся скреплёнными с нижней картонкой, представляющей основание подвижной карты. Всё это скрепление должно быть сделано так, чтобы карта могла свободно вращаться между горизонтом и основанием. Вращая карту, мы можем ставить её на любой день и час. Карта даёт наглядное представление об изменении вида звёздного неба как в течение суток, так и на протяжении года.

Подвижная карта помогает находить нужные звёзды на небе, видеть, какие звёзды кульминируют в данный день и час, какие звёзды видны вообще в данное время и пр. Наряду с этим подвижная карта даёт возможность решать приближённо ряд задач практической астрономии. Например, нам нужно определить приближённо время восхода и захода светила для данного дня в году. Для этого надо вращать звёздную карту до тех пор, пока светило не окажется у самого горизонта в восточной или западной стороне, а затем посмотреть, какой час приходится у данного дня или месяца. Так же можно определить время, когда то или иное светило кульминирует, т. е. располагается на линии, соединяющей точку севера и юга. При этом, если звезда находится на этой линии между полюсом и точкой юга, мы имеем верхнюю кульминацию, если же она находится между полюсом и точкой севера, — нижнюю кульминацию. Установка подвижной карты делается по гражданскому времени.

Примеры. 1. Какой вид имеет звёздное небо в 10 час. вечера 20 ноября? Находим на внешнем круге подвижной карты ноябрь и в нём 20-е число. Поворачиваем карту так, чтобы это 20-е число расположилось у черты на накладном круге, соответствующей 10 час. В вырезе горизонта мы увидим, что стрелка Большой Медведицы направлена на северо-восток; почти вертикально по направлению к северу располагается линия, соединяющая звёзды α и β Малой Медведицы. Близко к

зениту находится Кассиопея и яркая звезда Капелла в созвездии Возничего, на южной стороне — Персей и Андромеда. На восточной стороне поднимается Телец с кучкой звёзд Плеяд, а за ним Орион; на юго-западной стороне — Пегас и совсем близко к горизонту — на западе — созвездие Лебедя и звезда Вега из созвездия Лир.

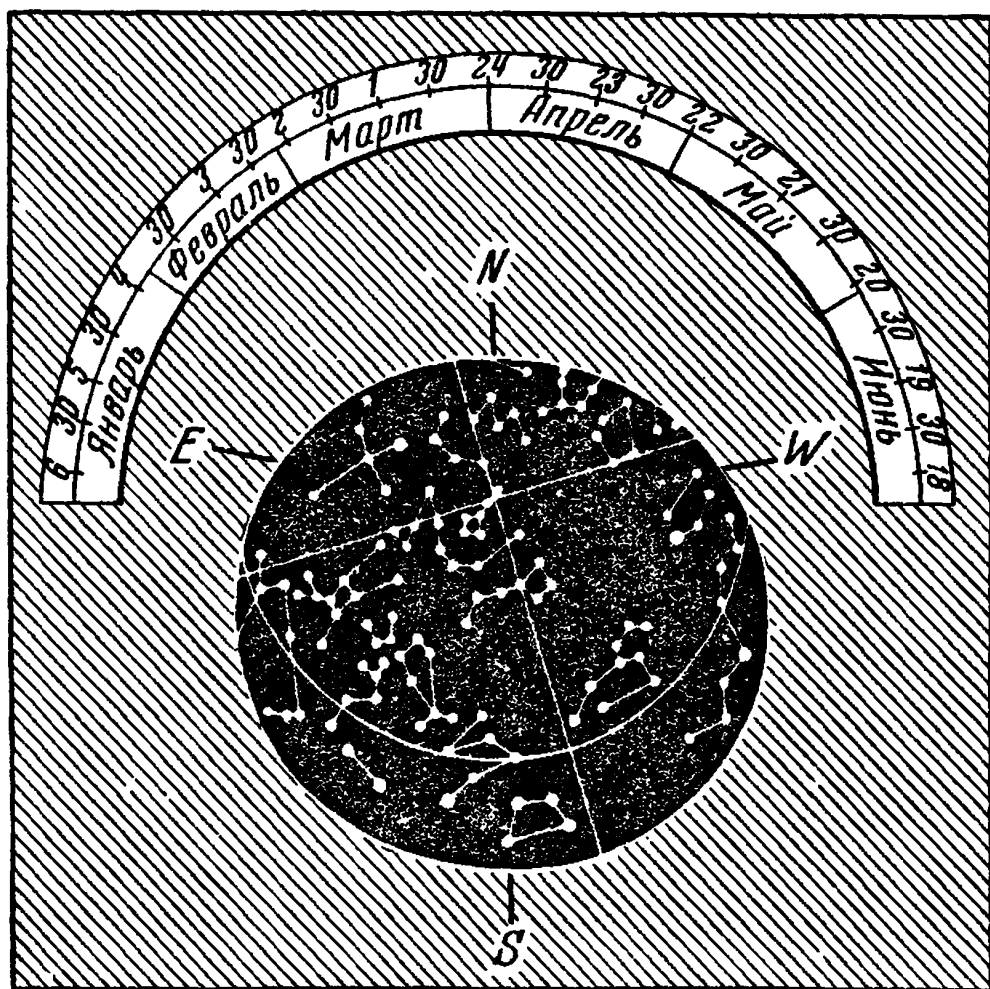


Рис. 47.

2. Определить время восхода звезды Арктур 1 марта и момент её верхней кульминации 23 апреля. Находим на карте созвездие Волопаса. Вращая карту, поставим её так, чтобы Арктур расположился у восточного края горизонта. Смотря на внешний круг, заметим, что 1 марта расположилось у черты, соответствующей 19 час., или 7 час. вечера (по местному времени, а по декретному, следовательно, Арктур взойдёт около 8 час. вечера).

Вращая карту дальше так, чтобы Арктур попал на меридиан, мы видим, что в этом положении 23 апреля располагается на круге почти у 0 час. Следовательно, Арктур кульминирует 23 апреля около полуночи.

3. Поворачивая карту так, чтобы звезда α Б. Медведицы располагалась по линии меридиана, мы видим, что около полуночи она находится в нижней кульминации в конце сентября и в верхней — в конце марта.

В авиации применяется бортовая карта, которая является подвижной. Она смонтирована так, что звёздная карта помещается внутри между картоном, служащим как бы основанием, и приклеенным к нему накладным листом (рис. 47). Карта может вращаться около полюса мира как центра. Накладной лист не обрезан по полному кругу, а в нём вырезана полоска в полкруга только для ночных часов. Таким образом, можно видеть деления месяцев и числа, нанесённые на внутренней карте. Пользуясь тем, что сказано в начале этой главы, можно намечать положение Солнца на карте, где начерчена и эклиптика, и решать вопросы о восходе и заходе Солнца.

§ 18. Положение Луны и планет в разное время

Луна меняет своё положение среди звёзд гораздо быстрее, чем Солнце, и делает полный оборот почти в месяц, точнее — в $27\frac{1}{3}$ суток (*сидерический* месяц — период, в течение которого Луна совершает своё обращение вокруг Земли).

Так как Луна движется вокруг Земли почти в той же плоскости, что и Земля вокруг Солнца, то видимое перемещение Луны на звёздном небе происходит вблизи эклиптики. За сутки Луна смещается среди звёзд на $13^\circ,2$, а по отношению к Солнцу — на $12^\circ,2$. Смена фаз Луны зависит от положения Луны относительно Солнца. Новолуние соответствует положению, когда Луна и Солнце наиболее близко подходят на небе друг к другу. Отходя от Солнца ежесуточно на $12^\circ,2$, Луна вновь приблизится к нему через $\frac{360^\circ}{12^\circ,2} = 29,5$ суток. Это и есть период смены фаз Луны, *синодический* месяц. В полнолуние Луна должна занимать противоположное Солнцу положение на небе; в это время её прямое восхождение отличается от прямого восхождения Солнца на 12 часов.

Вспомним, что летом полуденное Солнце у нас поднимается значительно выше над горизонтом, чем зимой. Полная же Луна, наоборот, летом на полуночном небе бывает значительно ниже, чем зимой. Подвижная карта может наглядно показать, как летняя полная Луна, находясь недалеко от точки зимнего солнцестояния, в своём суточном вращении поднимается невысоко над горизонтом, тогда как зимой, располагаясь вблизи точки летнего солнцестояния, она поднимается почти так же высоко около полуночи, как Солнце летом около полудня.

Надо заметить, что плоскость лунной орбиты не совпадает с плоскостью земной орбиты, поэтому наивысшее положение полной Луны несколько сдвинуто ближе к весне, а наинизшее — к осени.

Планеты обращаются вокруг Солнца, каждая по своему пути и с различной скоростью, но в одном и том же направлении (против видимого суточного вращения неба). Они находятся на разных расстояниях от Солнца (см. Введение) и расположены в следующем порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. В конце книги помещена табличка, в которой даны их средние расстояния от Солнца, периоды обращений и др. (см. Приложение II, стр. 149).

Самое название «планеты», данное им древними греками (от греческого «*планао*» — блуждаю), связано с тем, что они перемещаются среди звёзд, а потому не всегда бывают одновременно видны на ночном небе. Это видимое перемещение планет на небе кажется довольно запутанным: они то движутся относительно звёзд с запада на восток (подобно Солнцу и Луне) — так называемым *прямым движением*, то останавливаются и продвигаются несколько обратно, совершая так называемое *попятное движение*. Попятное движение вновь сменяется прямым движением и т. д. При своём движении планеты переходят из одного созвездия в другое. На рис. 48 показаны видимые пути планет Марса (♂), Сатурна (♄) и Венеры (♀) среди звёзд в 1947—1948 гг. по созвездию Льва.

Для наблюдения простым глазом доступны не все планеты. Наиболее яркими являются Венера (блеск ко-

торой достигает минус 4-й звёздной величины) и Юпитер (который иногда кажется звездой минус 2-й величины) — самая большая по размеру из всех планет. Затем идут Марс, отличающийся своим красноватым цветом, и Сатурн. Меркурий трудно наблюдать, так как он всегда бывает близок к Солнцу и теряется в лучах зари. Остальные планеты так далеки от Солнца и от нас, что не видны простым глазом.

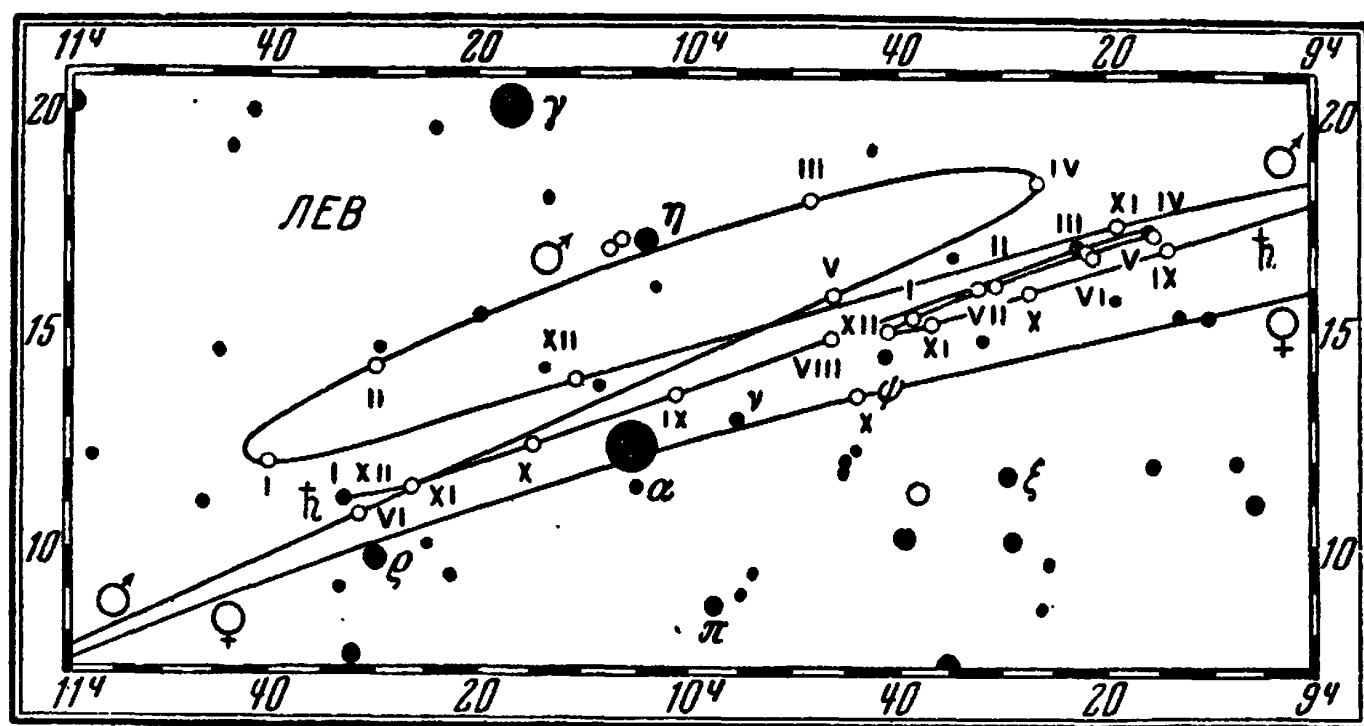


Рис. 48.

Мы наблюдаем планеты с Земли, которая сама движется, обращаясь вокруг Солнца. Вследствие этого и возникают кажущиеся петлеобразные движения планет на небе.

Все планеты обращаются вокруг Солнца почти в той же плоскости, что и наша Земля, т. е. вблизи плоскости эклиптики, проходящей по зодиакальным созвездиям. Поэтому планеты надо искать в этих созвездиях. По виду они отличаются своим спокойным блеском, тогда как звёзды зачастую заметно мерцают, переливаясь различными цветами.

Особенно ярка планета Венера. Так как её орбита находится внутри орбиты Земли, то она никогда не отходит от Солнца на небе дальше $46-48^\circ$ и бывает видна или по вечерам или по утрам даже тогда, когда из-за света зари не видно никаких звёзд. Положение Венеры

по отношению к Солнцу повторяется периодически через 584 дня (синодический период).

Другие яркие планеты — Марс, Юпитер, Сатурн — находятся в пространстве дальше от Солнца, чем Земля. Поэтому они могут располагаться на небе и в противоположной стороне по отношению к Солнцу. Такое положение планеты, называемое противостоянием, наиболее благоприятно для её наблюдений, так как при этом она видна почти всю ночь и кульминирует около полуночи. Противостояния Юпитера повторяются через 400 дней (синодический период). Синодический период Сатурна — 378 дней.

Яркие планеты являются очень хорошими ориентирами. Такие планеты, как Юпитер и Сатурн, медленно перемещаясь, почти весь год проходят по одному или двум соседним созвездиям и вместе с этими созвездиями в определённые месяцы могут наблюдаться на ночном небе.

Сведения о видимости и положениях планет на небе, а также о восходе и заходе Солнца и Луны и пр. даются в астрономических ежегодниках или в календарях. Некоторые сведения о видимости планет в ближайшие годы читатель может получить из Приложения XII (стр. 162).

§ 19. Астрономические календари и ежегодники

Мы видели уже, что положения на небе у многих светил меняются в течение года и от года к году, а стало быть, меняются и их экваториальные координаты α и δ . Эти положения могут быть вычислены заранее на основе методов теоретической астрономии, рассматривающей движение Земли и планет. У нас в СССР имеется специальный Институт теоретической астрономии в системе Академии наук СССР, проводящий все нужные вычисления и составляющий таблицы положений небесных тел и других данных о небесных светилах, на основании которых издаются у нас года за два-три вперёд ежегодники.

«Астрономический ежегодник СССР» — это основной справочник, который предназначен главным образом для астрономических обсерваторий и астрономо-геодези-

ческих полевых работ. В нём содержатся все нужные данные о Солнце, Луне и планетах на каждый день, различные сведения о звёздах, а также специальные таблицы. Координаты небесных светил даются в «Астрономическом ежегоднике СССР» с точностью до $0'',1$ и до $0'',01$.

Всесоюзное астрономо-геодезическое общество составляет «Астрономический календарь», предназначенный для более широкого пользования, но обеспечивающий все необходимые данные для любительских и не узко специальных астрономических работ и нужд ориентировки. Этот календарь мы особенно рекомендуем нашим читателям.

Календарь этот содержит таблицы Солнца и Луны, дающие по месяцам на каждый день: момент восхода, верхней кульминации и захода; азимуты точек восхода и захода; склонения; звёздное время для 0 час. всемирного времени, которым определяется и прямое восхождение Солнца; фазы Луны. В календаре даются описательные сведения о видимости планет в данном году с картами их видимых путей среди звёзд, таблицы их координат α и δ через 16 дней. Помещаются также сведения о солнечных и лунных затмениях, которые должны произойти в данном году, о моментах покрытия звёзд Луной, о явлениях в системе спутников Юпитера, о переменных звёздах, наконец, таблицы для определения широты по Полярной звезде.

ГЛАВА VI

НЕКОТОРЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ. ИСПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ВЫСОТ

§ 20. Универсальный инструмент

Все измерения тех или других нужных нам величин, которые определяются по положению небесных светил, сводятся к измерению углов. Непосредственными наблюдениями по большей части измеряются горизонтальные координаты небесных светил. Для этого и служит универсальный инструмент — переносный инструмент, который в более простой, лёгкой и приспособленной к картографо-геодезическим работам конструкции, носит название *теодолита* (рис. 49). Теодолит имеет зрительную трубу 1 обычно с 20-кратным увеличением. Труба эта может вращаться около горизонтальной оси, укреплённой на подставке, неподвижно соединённой с горизонтальным кругом 2, называемым алидадой. На алидаде имеется нулевой указатель, по положению которого производится отсчёт. С алидадой концентрически связан, соприкасаясь с ней в одной плоскости, горизонтальный круг с градусными делениями, который называется лимбом. Под ним в середине находится стойка, служащая вертикальной осью и связанная с основанием инструмента на трёх винтах 7. Таким образом, труба со всей подставкой и алидадой вращается вокруг вертикальной оси, а на подставке она вращается вокруг горизонтальной оси.

На горизонтальной оси укреплён в вертикальной плоскости другой круг 4 с градусными делениями (лимб),

а на концах — планки, неподвижно скреплённые с трубой и представляющие собой алидаду, имеющую нулевой указатель. Лимбы теодолита по большей части разделены на полуградусы, т. е. цена каждого деления равна $30'$. У нулевого указателя каждой алидады имеется ряд

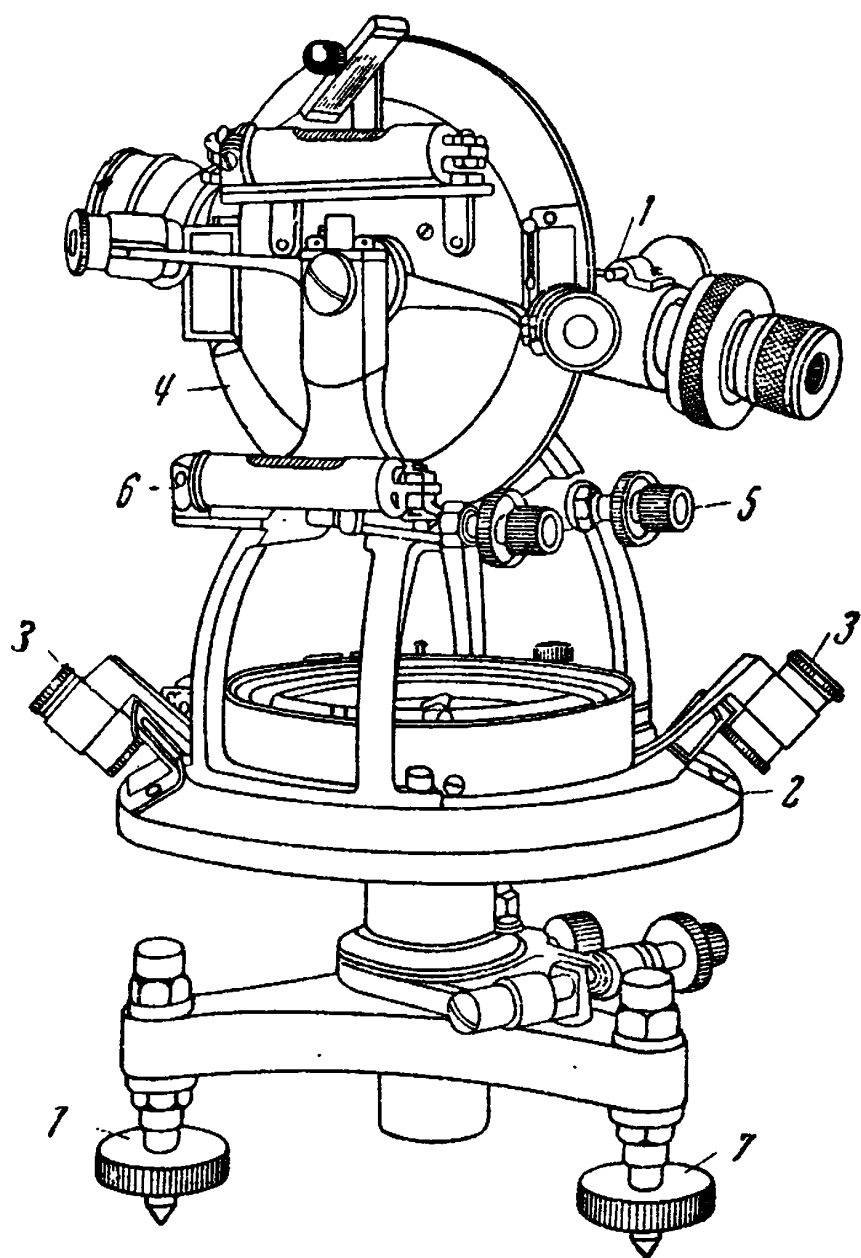
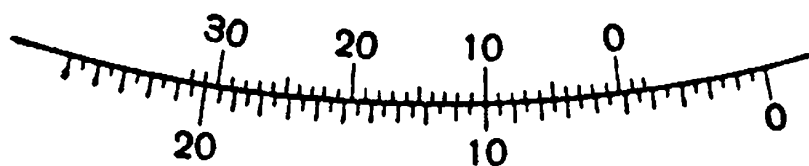


Рис. 49.

делений, представляющий собой *верньер*, или *нониус*. Нониус — это вспомогательная линейка, а в данном случае дуга, дающая возможность оценивать доли делений лимба, если нулевой штрих останавливается в промежутке между делениями. Чтобы измерять с точностью до минуты, берут дугу длиной, равной 29 делениям лимба, и делят её на 30 частей. Тогда каждое деление полученной дуги нониуса меньше деления лимба на $\frac{1}{30}$. Если часть последнего при отсчете деления лимба до нуля

нониуса на алидаде составляет, например, $10'$ (рис. 50), то десятое деление нониуса совпадет с одним из последующих делений лимба. Это покажет, на сколько тридцатых долей одного деления лимба 10 делений нониуса короче соответствующего числа делений лимба. Для снятия показания на круге надо посмотреть, около какого числа градусов на лимбе находится нуль алидады, а затем смотреть, какое деление нониуса совпадает с одним из делений лимба.

Очень трудно сделать так, чтобы ось вращения точно проходила через центр круга. Отсюда получается так



Деление лимба $1\frac{1}{2}^\circ$, точность верньера $1'$

Рис. 50.

называемая ошибка эксцентриситета. Устранить её можно установкой двух нониусов в диаметрально противоположных точках круга. Из-за ошибки эксцентриситета отсчёт по одному нониусу может оказаться несколько больше, а по другому на столько же меньше, чем правильный отсчёт. Беря среднее арифметическое от числа минут отсчётов того и другого нониуса, получим отсчёт с исключённой ошибкой эксцентриситета. Так как деления лимба и нониуса очень мелки, то при каждом нониусе обыкновенно приспособливается лупа (3 на рисунке 49).

Начало делений на горизонтальном лимбе расположено произвольно и числа делений возрастают по часовой стрелке. На вертикальном же лимбе начало отсчёта обыкновенно располагается так, чтобы отсчёт по лимбу давал высоту наблюдаемого объекта и начало отсчёта, следовательно, соответствовало горизонтальному направлению.

Обе алидады скрепляются с лимбами при помощи зажимных винтов и могут медленно вращаться с помощью микрометрических винтов (5 на рис. 49). Все

движения инструмента совершаются обычно весьма плавно, и поэтому, если получается какая-нибудь задержка в повороте, надо посмотреть, не закреплена ли ось или нет ли какой-либо другой помехи.

Теодолит устанавливается обычно на треножном штативе с горизонтальной площадкой. При наблюдении на постоянной площадке или на вышке универсальный инструмент и теодолит устанавливаются на каменном столбе высотой около 1,25 м с ровной горизонтальной верхней площадкой.

Перед наблюдением надо установить инструмент так, чтобы горизонтальный круг действительно был расположен в горизонтальной плоскости. Это достигается с помощью уравнительных винтов в ножках и уровня на горизонтальном круге (6 на рис. 49). Поступают следующим образом: 1) вращают подставку с трубой около вертикальной оси до тех пор, пока уровень не расположится параллельно линии, соединяющей два винта; вращением этих винтов обеими руками во взаимно противоположных направлениях (один винт по часовой стрелке, другой — против) приводят пузырёк уровня на середину; 2) поворачивают подставку с трубой около вертикальной оси на 90° и при помощи третьего винта приводят пузырёк уровня на середину. Повторяют эти операции несколько раз.

Теодолит имеет обычно деления не на всём вертикальном круге и потому не приспособлен для наблюдения светил, близких к зениту. Для этих случаев надо иметь уже универсальный инструмент с полным разделённым вертикальным кругом и так называемой ломаной трубой. Горизонтальная ось трубы делается внутри полой, а в середине трубы ставится стеклянная прямоугольная призма, которая отражает лучи под прямым углом. Наблюдатель смотрит сбоку, т. е. с конца горизонтальной оси, где помещается окуляр. В такую трубу можно наблюдать звёзды и у самого зенита. Для большей точности измерений труба универсального инструмента снабжается микрометром.

В окулярной (прикладываемой к глазу) части трубы помещаются натянутые под прямым углом тонкие нити

так, что их пересечение даёт центр поля зрения для более точной наводки.

Чтобы при измерении высоты звезды теодолитом исключить неточность совпадения начала отсчёта на вертикальном круге с горизонтальным направлением, надо провести измерения два раза: первый раз при круге, расположенном вправо от середины инструмента, второй раз влево. Для этого надо повернуть трубу вокруг вертикальной оси на 180° и вокруг горизонтальной оси, направив на прежнюю точку. Правильное значение отсчёта получится как среднее от двух измерений.

Для измерения азимута нужно знать направление меридиана в данном месте, т. е. надо знать отсчёт на горизонтальном круге, соответствующий направлению на точку юга. Для приближённого определения этого направления в теодолите служит большой компас с делениями (буссоль), помещённый в центре горизонтального круга. На нём нанесены точки с буквами *N* (север) и *S* (юг). Если мы повернём инструмент так, чтобы эти точки совпадали с концами свободно вращающейся магнитной стрелки, то труба будет находиться в плоскости меридиана. Но здесь надо иметь в виду, что магнитный и географический меридианы не совпадают и надо знать магнитное склонение (см. стр. 15 и Приложение XV).

Более точно можно найти направление меридиана двумя наблюдениями одного и того же светила на одинаковой высоте до кульминации и после неё. Зная приблизительно направление меридиана (например, по Полярной звезде), направляем трубу на звезду, расположенную в данный момент к востоку от южной стороны меридиана, закрепляем трубу около горизонтальной оси и делаем первый отсчёт на горизонтальном круге. Затем, поворачивая трубу вокруг вертикальной оси к западу, ждём, когда звезда суточным вращением придёт опять в центр поля зрения трубы, и в этом положении делаем второй отсчёт на горизонтальном круге. Обозначив первый отсчёт буквой *B* (восток), а второй — буквой *З* (запад), получаем отсчёт точки юга как полусумму этих

отсчётов: $\frac{B + З}{2}$.

Пользуясь справочником, определяют направление меридиана по Полярной звезде с помощью помещаемых там специальных таблиц.

Чтобы измерить азимут какого-нибудь светила, надо, направив на него трубу, сделать отсчёт на горизонтальном круге и вычесть из него отсчёт точки юга.

Если приходится измерять всё время с одного и того же места, то можно измерить азимут какого-нибудь земного предмета, а по нему затем каждый раз находить отсчёт на горизонтальном круге, соответствующий точке юга.

Установив трубу теодолита точно в плоскости меридиана, мы можем по наблюдению момента прохождения звезды через центр поля зрения трубы находить точное время и проверять часы так же, как это делается на обсерваториях при помощи пассажного инструмента. При этом определяется, по наблюдению, конечно, звёздное время, которое можно перевести в гражданское или декретное.

§ 21. Секстан

В условиях наблюдения на море с качающейся палубы судна, а тем более с самолёта, нужен инструмент не только портативный, но и не требующий особой установки. Таким инструментом и является секстан, при помощи которого можно производить измерение высоты светила, держа инструмент в руке. Помимо зрительной трубы и части разделённого круга обычный секстан содержит подвижное и неподвижное зеркала, которые дают возможность наблюдателю одновременно видеть горизонт и светило. Это достигается поворотом подвижного зеркала так, чтобы оно отражало светило в том же направлении, в каком виден горизонт, а по повороту зеркала можно судить о высоте светила над горизонтом: чем выше светило, тем на больший угол надо повернуть зеркало, чтобы луч от светила попал на линию горизонта (рис. 51).

Луч от светила S падает на подвижное зеркало A , могущее поворачиваться около оси, проходящей через точку D . Отражаясь от него, луч идёт к неподвижному

зеркалу B , а от него в глаз O . Сюда же направлен луч от линии горизонта H , проходящий прямо сквозь прозрачную часть неподвижного зеркала B . Это зеркало может быть наполовину очищено от амальгамы или просто может быть стеклянной пластинкой, которая частью пропускает лучи света, частью отражает. Таким образом, при определённом положении подвижного зеркала глаз увидит одновременно светило и линию горизонта.

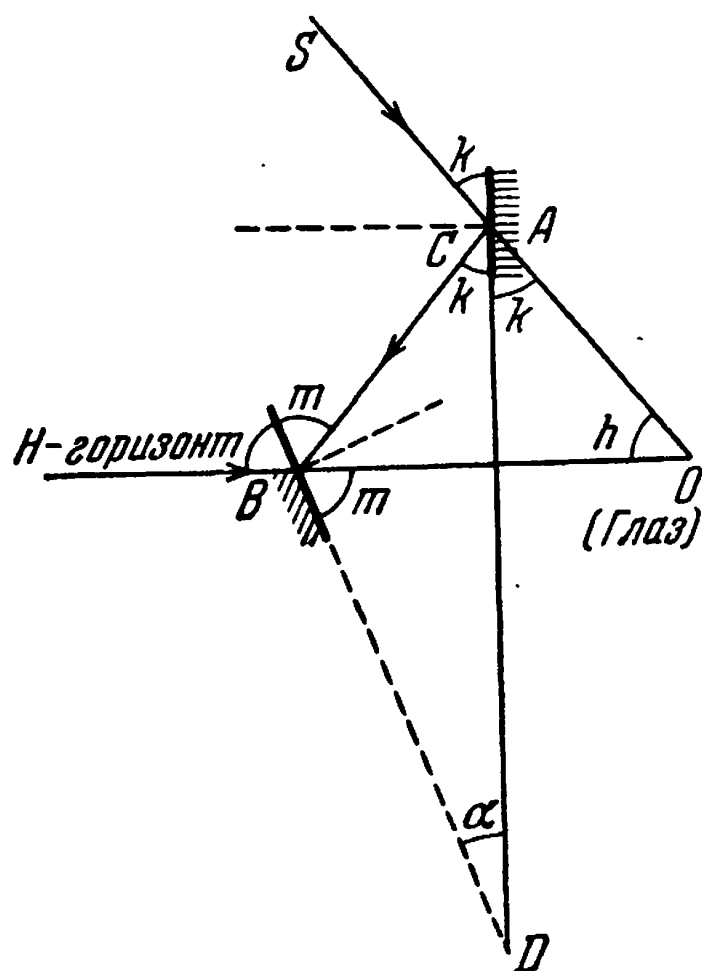


Рис. 51.

Угол при точке D между направлениями обоих зеркал может быть измерен, а по нему найдётся и высота светила над горизонтом. Легко видеть, что $2m = 2k + h$ (внешний угол треугольника равен сумме внутренних, с ним не смежных углов); то же в треугольнике ABD

$$m = \alpha + k,$$

откуда

$$2m = 2\alpha + 2k.$$

Следовательно,

$$2\alpha + 2k = 2k + h,$$

т. е.

$$h = 2\alpha.$$

Здесь принимается во внимание, что по законам отражения угол падения луча равен углу отражения, а отсюда следует, что при повороте зеркала на некоторый угол луч отклоняется на двойной угол. Поэтому на разделённой дуге секстана каждые полградуса имеют значение целого градуса высоты, а так как высота считается от 0 до 90° , то достаточно иметь разделённую дугу в 45° . Обыкновенно с некоторым запасом делают её в 60° , что и составляет шестую часть окружности. На разделённой дуге секстана наносятся уже удвоенные значения дуг. Например, деление с длиной дуги в 10° помечается

числом 20, деление с длиной дуги 15° помечается числом 30 и т. д.

Общий вид морского секстана представлен на рис. 52. В нём помимо зрительной трубы и зеркал имеются тёмные или цветные стёкла, заключённые в оправы, для наблюдений над Солнцем и Луной. Секстан не имеет

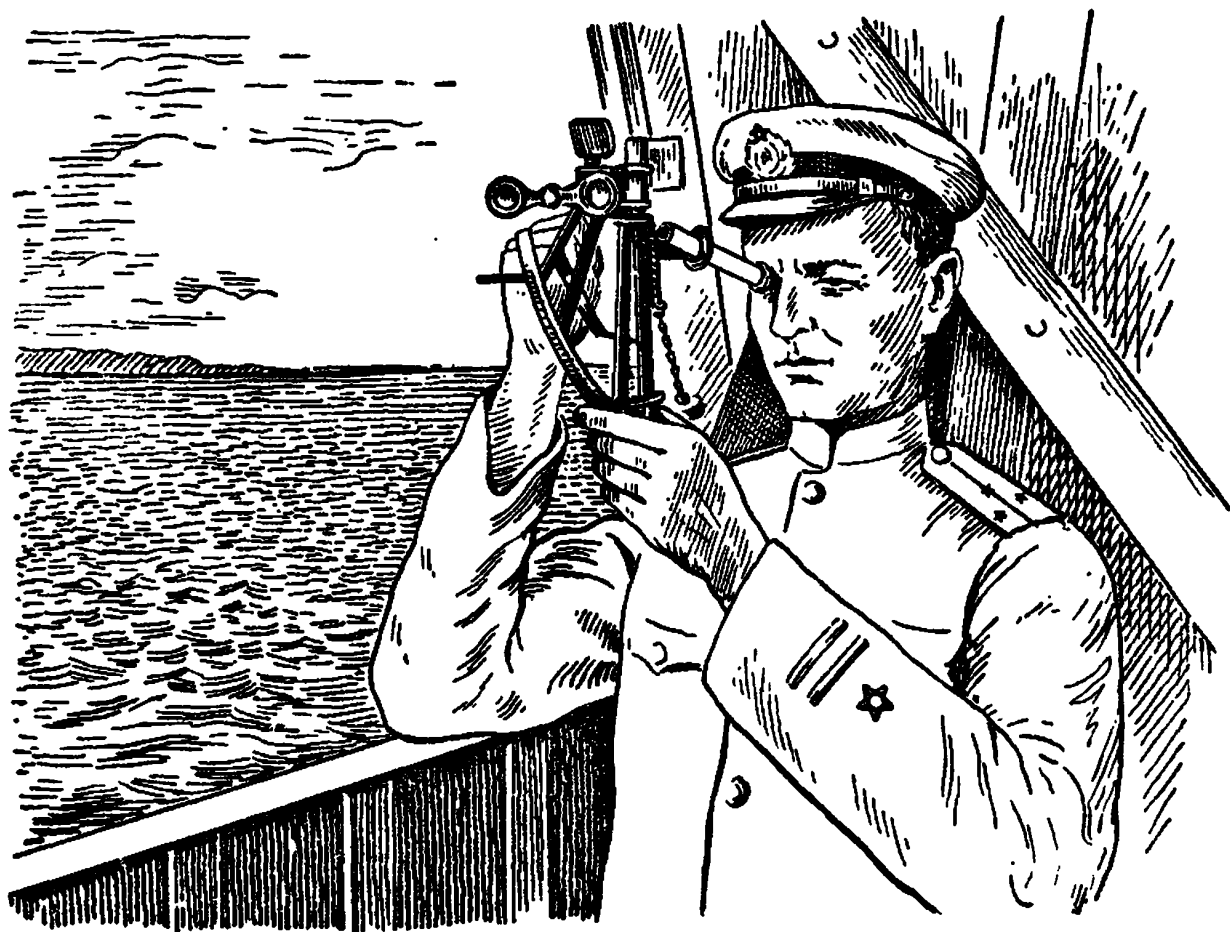


Рис. 52.

штатива, а снабжён рукояткой и имеет лёгкую конструкцию, чтобы можно было при измерениях держать его одной рукой, а другой поворачивать зеркало.

В практике воздушной навигации в большинстве случаев пользуются искусственным горизонтом даже днём, а тем более ночью, когда естественного горизонта просто не видно. В авиационном секстане (рис. 53) внутри прибора помещается уровень с пузырьком так, что направление горизонтального луча соответствует такому положению, когда в центре поля зрения виден пузырёк уровня.

Устройство авиационного секстана изображено на рис. 54. Внутри прибора имеется круглый уровень 2,

который при пользовании естественным горизонтом отводится в сторону. Горизонтальный луч света идёт через объектив трубы 1, падает на прямоугольную стеклянную призму 3, внутри которой отражается под прямым углом вертикально вниз, затем он проходит в пятигранную стеклянную призму 4, отражаясь от задней стенки которой, попадает в окуляр 5. Пройдя затем сквозь подвижную стеклянную пластинку 6 (подвижное зеркало), луч

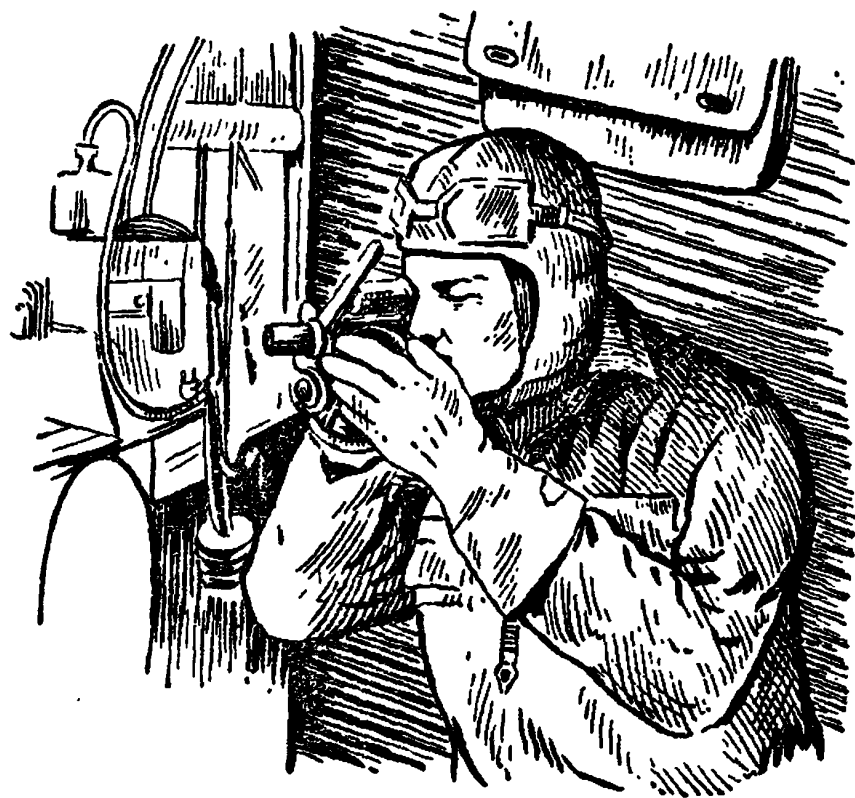


Рис. 53.

идёт к глазу наблюдателя. Кроме него в глаз наблюдателя попадает и луч, идущий от светила *М* и отражающийся от того же подвижного стекла.

Разделённый круг связан с подвижной стеклянной пластинкой 6, положение которой для светила на горизонте соответствует нулевому делению на разделённом круге. Высота светила, находящегося выше горизонта, определится углом поворота пластинки, как это объяснено выше в описании принципиальной схемы секстана.

При наблюдении Солнца нужно иметь тёмную пластинку или светофильтр 7, который ставится на пути солнечных лучей.

По большей части, как уже сказано, в практике авиации пользуются искусственным горизонтом. Для

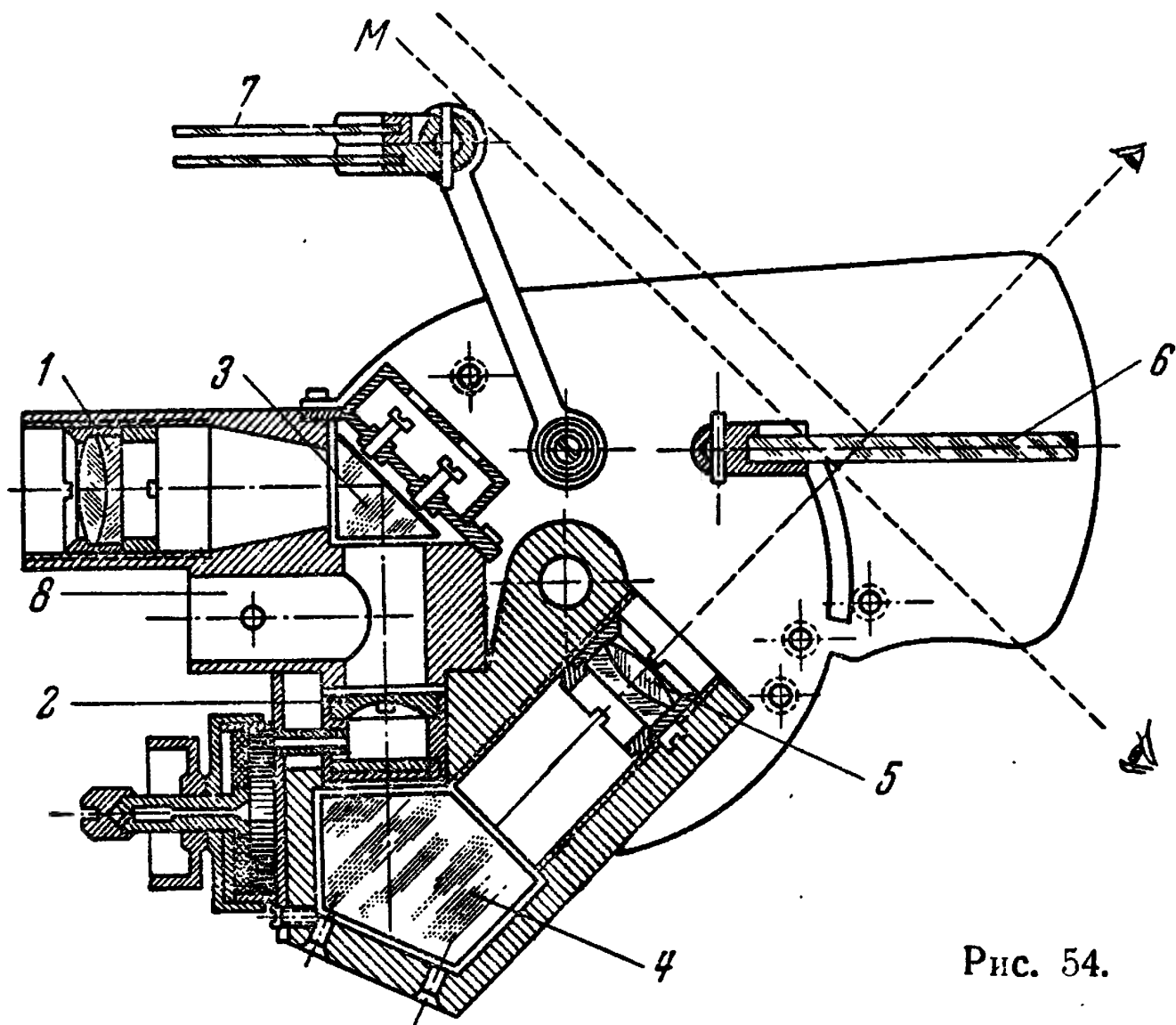
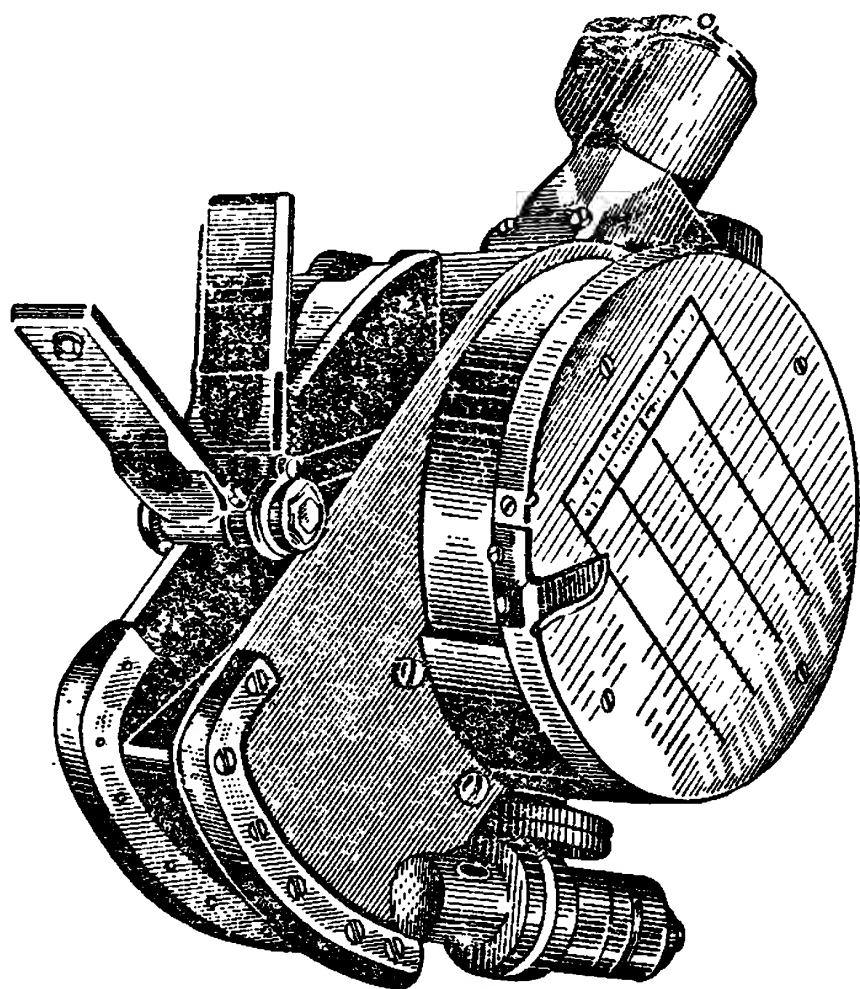


Рис. 54.

этого и служит круглый уровень 2. Его пузырёк ночью освещается специально приспособленной около него лампочкой 8. Лучи света от пузырька идут в пятигранную призму и далее через окуляр — в глаз наблюдателя. Если инструмент наклонить, то пузырёк выходит из поля зрения. Таким образом, если пузырёк находится в центральной части поля зрения, то нулевое деление разделённого круга соответствует горизонту. Действуя подвижной пластинкой — зеркальцем, мы совмещаем изображение избранного светила с пузырьком. Общий вид секстана показан на рис. 54 (вверху).

§ 22. Исправление измеренных величин. Влияние понижения горизонта

Высоту светила определяют по отношению к направлению истинного горизонта, перпендикулярного в данной точке к вертикальному направлению. Если же от-

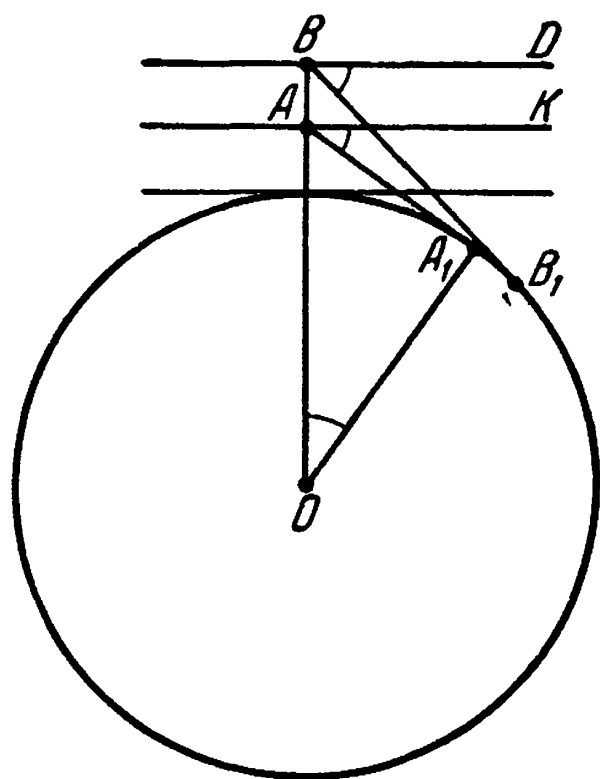


Рис. 55.

счёт высоты делается от линии видимого горизонта, как, например, при помощи секстана, то надо знать, насколько отклоняется одно направление от другого. Очевидно, видимый горизонт расширяется по мере поднятия над Землёй вследствие шарообразности Земли, и направление на видимый горизонт понижается.

Рис. 55 изображает земной шар. Если человек находится в точке A , то он видит поверхность Земли до A_1 . Поднявшись выше, в точку B , он увидит дальше — до точки B_1 .

Линии AK и BD параллельны горизонтальной плоскости. Угол KAA_1 , как и угол DBB_1 , называется понижением горизонта. Сравнивая углы понижения горизонта в точках A и B , мы видим, что угол тем больше, чем выше находится наблюдатель над Землёй. На вы-

соте 10 м понижение горизонта составляет около 6', на высоте 1000 м — уже около 1°. Угол понижения горизонта, как нетрудно видеть из того же рисунка, связан с дальностью видимости горизонта. Эту дальность горизонта мы получаем, зная радиус Земли и высоту наблюдателя над землёй. Рассмотрим прямоугольный треугольник $ОАА_1$ с прямым углом в точке $А_1$. По теореме Пифагора имеем:

$$x^2 + R^2 = (R + a)^2, \text{ или } x^2 = (R + a)^2 - R^2,$$

откуда

$$x^2 = 2Ra + a^2 = 2Ra \left(1 + \frac{a}{2R}\right).$$

Здесь x — дальность горизонта, R — радиус Земли, a — высота наблюдателя. У дроби $\frac{a}{2R}$ знаменатель (диаметр Земли) очень велик сравнительно с числителем; следовательно, сама дробь очень мала и ею при вычислении вполне можно пренебречь. Для вычисления дальности горизонта получается формула

$$x = \sqrt{2Ra}.$$

Например, при высоте наблюдателя 20 м получаем дальность горизонта

$$x = \sqrt{2 \cdot 6\,370\,000 \cdot 20} \text{ м} = 15\,963 \text{ м} \approx 16 \text{ км}.$$

В формуле $x = \sqrt{2Ra}$ множитель $\sqrt{2R}$ в данном случае можно считать постоянным и дальность горизонта пропорциональной квадратному корню из высоты наблюдателя. Выражая R в километрах, высоту a — в метрах и учитывая ещё рефракцию (см. ниже), ведут расчёт дальности горизонта практически по формуле

$$x \text{ (км)} = 3,80 \sqrt{a \text{ (м)}}.$$

Для того же примера по этой формуле будем иметь:

$$x = 3,80 \sqrt{20} = 3,80 \cdot 4,47 = 16,99 \approx 17 \text{ км}.$$

Если принять во внимание, что в последнем случае учтена рефракция, благодаря которой дальность гори-

зонта увеличивается, результаты того и другого подсчётов можно считать близкими.

Угол понижения горизонта определится из того же прямоугольного треугольника AA_1O , в котором $\angle AOA_1 = \angle KAA_1$, т. е. углу понижения горизонта n . Из этого треугольника имеем:

$$AA_1 = OA_1 \cdot \operatorname{tg} n.$$

AA_1 есть дальность горизонта, которая равна по предыдущему $\sqrt{2Ra}$, и OA_1 есть R . Следовательно,

$$R \operatorname{tg} n = \sqrt{2Ra}.$$

Обычно угол понижения горизонта мал, а потому вместо его тангенса можно взять самый угол. Подставляя известные числовые значения, получаем для вычисления угла понижения горизонта в угловых минутах формулу

$$n' = 1,80 \sqrt{a}.$$

Например, при высоте 20 м угол понижения горизонта равен:

$$n' = 1,80 \sqrt{20} = 1,80 \cdot 4,47 = 8',05 \approx 8' \\ (\text{с точностью до } 0',1).$$

Пользуясь указанными формулами, можно составить такую табличку:

Высота в м	2	20	200	1000
Дальность горизонта в км . .	7,6	17	54	120
Угол понижения горизонта . .	2',5	8',0	25',4	56',9

§ 23. Рефракция

Лучи света, идущие от небесных светил, прежде чем попасть в глаз наблюдателя, проходят через воздух, окружающий Землю, и в нём преломляются. Это явление называется *рефракцией*. Величина преломления зависит от угла падения луча света и от плотности воздуха. Плотность воздуха увеличивается с приближением к поверхности Земли, и чем ближе к ней, тем больше преломление луча при одном и том же угле падения. Вследствие этого

светило кажется нам всегда находящимся несколько выше над горизонтом, чем в действительности, т. е. видимая высота больше истинной, а зенитное расстояние меньше (рис. 56). Угол, измеряющий отклонение луча, называется *углом рефракции*. Рефракция равна нулю, если светило в зените, потому что вертикально падающий луч (угол падения равен нулю) не преломляется, но чем дальше светило от зенита, тем рефракция больше, как это видно на рис. 56. Наибольшую величину рефракция имеет для светила, находящегося на горизонте, т. е. когда оно восходит или заходит. Здесь рефракция в среднем достигает 35'. Точное определение величины рефракции затрудняется тем, что преломление лучей в атмосфере зависит от состояния воздуха, т. е. от давления, температуры и т. д., особенно слоёв у поверхности Земли.

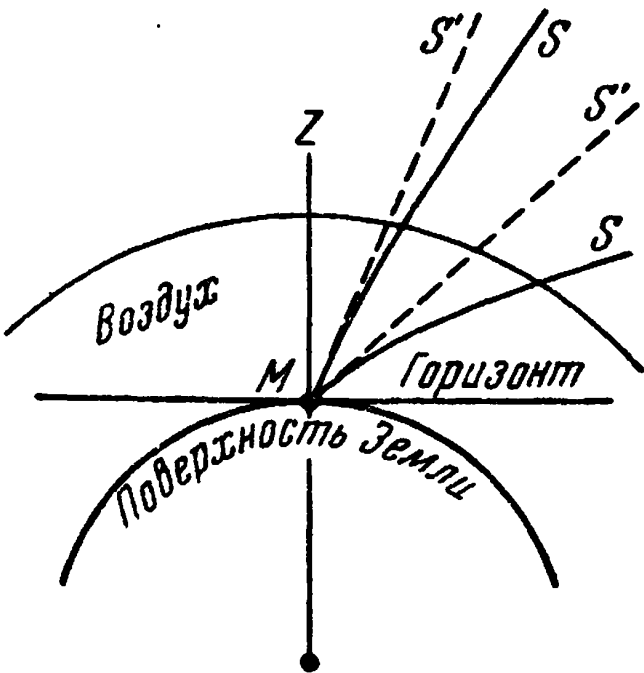


Рис. 56.

Под *средней рефракцией* понимают рефракцию, соответствующую средним значениям температуры и давления воздуха. Если принять за среднее значение температуры 10° С и давления 760 мм ртутного столба, то формула средней рефракции будет иметь вид

$$\rho'' = 58'',3 \operatorname{tg} z,$$

где z — наблюдаемое зенитное расстояние светила.

Таблица средней рефракции

Зенитное расстояние	Рефракция	Зенитное расстояние	Рефракция
0°	0'00"	80°	5'16"
10°	0'10"	89°0'	18'09"
30°	0'33"	89°30'	29'26"
60°	1'40"	90°0'	34'54"

Рефракция приподнимает восходящее и заходящее Солнце приблизительно на целый его диск (видимый поперечник Солнца около $30'$). Значит, в действительности восход Солнца, т. е. восход верхнего края диска Солнца, происходит после того, как мы уже видим весь диск Солнца поднявшимся над горизонтом. Мы видим восход Солнца несколько раньше, а заход Солнца позднее, чем они происходят в действительности. Это несколько увеличивает продолжительность дня. Увеличение длины дня вследствие рефракции наиболее заметно в северных широтах, так как чем севернее, тем меньше наклон к горизонту круга, по которому поднимается при восходе и опускается при заходе Солнце.

При точных измерениях высоты светила в полученное значение высоты приходится вносить поправку с учётом рефракции, которая различна при разных высотах светила.

Если речь идёт о восходе и заходе Солнца или Луны, то кроме рефракции надо учитывать и тот факт, что координаты их относятся всегда к центру диска, восход же начинается, когда верхний край диска коснётся горизонта.

Угловой радиус диска Солнца можно принять равным $16'$, диска Луны — $15',5$. Для Луны приходится учитывать и влияние так называемого параллакса. *Параллаксом*, или параллактическим смещением, называется угол, под которым виден какой-нибудь предмет из двух разных точек зрения. Поскольку экваториальные координаты Луны даются в ежегодниках по отношению к центру Земли, наблюдатель же находится на поверхности, то Луна ему кажется несколько смещённой. Не вдаваясь в дальнейшие подробности, скажем только, что параллакс понижает Луну (сравнительно с её положением для наблюдателя в центре Земли). Имеет место и параллактическое смещение Солнца, планет и звёзд, однако для них оно чрезвычайно мало (около $9''$ для Солнца, меньше $1'$ для планет и меньше $0,001''$ для звёзд). Для Луны же параллактическое смещение достигает $57'$, почему его и следует принимать во внимание.

Изменение преломления лучей света в атмосфере, происходящее вследствие воздушных течений в ней, является также причиной явления *мерцания* звёзд, которое тем заметнее, чем ближе звёзды к горизонту. На мерцание звёзд влияет состояние атмосферы, содержание в ней паров воды, движение воздуха. Поэтому большее или меньшее мерцание звёзд может служить признаком изменения погоды.

В различных условиях необходимо знать данные о наступлении рассвета темноты, продолжительности сумерек. Сумерками называется явление свечения неба ещё до восхода Солнца или после его захода.

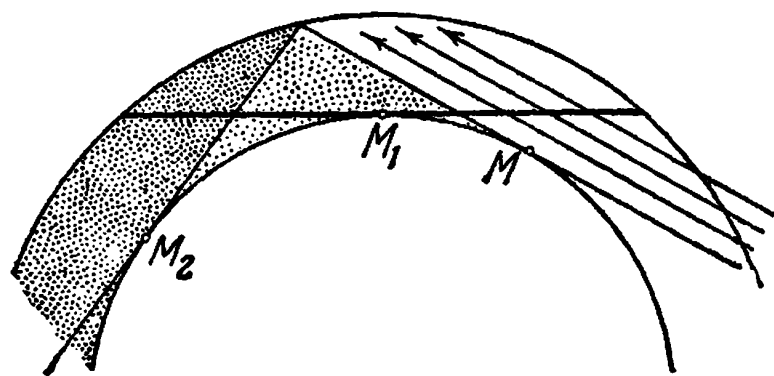


Рис. 57.

Воздух окружает Землю, поднимаясь на большую высоту. В то время как для нас на земной поверхности Солнце зашло и лучи его уже не освещают земных предметов, воздух, находящийся выше, ещё освещён, и частицы его отбрасывают свет на Землю.

Если в точке M на Земле (рис. 57) Солнце заходит и начинаются сумерки, то место M_1 освещается только отражёнными лучами от верхних слоёв атмосферы, а в место M_2 уже не попадают и отражённые лучи — здесь сумерки закончились и наступила темнота.

Считается, что небо перестаёт светиться от солнечных лучей, когда центр Солнца опускается под горизонт на 18° ; этот момент называется концом *астрономических сумерек*. Практически имеют большое значение так называемые *гражданские сумерки*, конец которых наступает, когда центр Солнца ниже горизонта на 7° . В это время на небе становятся видны яркие звёзды и планеты. В практике авиации гражданскими сумерками заканчиваются дневные условия полёта.

Продолжительность сумерек зависит от времени года и от широты места. Севернее широты 60° , т. е. в Ленинграде и дальше к северу, гражданские сумерки

летом могут длиться всю ночь, так как там в это время года центр Солнца даже в полночь опускается под горизонт меньше, чем на 7° . Там бывают белые ночи, а за полярным кругом ($66\frac{1}{2}^\circ$ северной широты) Солнце может и совсем не заходить.

В приложениях дана таблица продолжительности гражданских сумерек для различных широт (см. стр. 159).

ГЛАВА VII

ПОНЯТИЕ ОБ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОРИЕНТИРОВКЕ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В МОРЕПЛАВАНИИ И АВИАЦИИ

Для мореплавателей ещё в середине прошлого столетия был разработан особый метод, дающий возможность несложными наблюдениями и вычислениями достаточно быстро и точно найти местоположение судна на глобусе или на карте. Впоследствии этот метод был усовершенствован и применён также в авиации. Первоначальная разработка этого метода приписывалась капитану Сомнеру. В настоящее время установлено, что русский военный моряк, поручик корпуса флотских штурманов Акимов разработал и применил на практике в 1839 году новый способ быстрого определения местоположения корабля в море, значительно более универсальный и удобный, чем тот, который был предложен Сомнером. Способ Акимова собственно и был усвоен моряками всех стран, и до настоящего времени именно он в несколько изменённом виде и применяется в случаях получения наибольшей точности. Он также ближе всего к способу, применяемому в современной авиации.

Идея метода исходит из того, что в любой момент всякое светило находится в зените некоторого определённого места Земли.

Если данное светило находится в зените для некоторого места, то по небесным координатам светила легко определяется географическое положение этого места. В самом деле, для всякого кульминирующего светила мы имеем (стр. 98) $\varphi = \delta \pm z$. Если же светило находится в зените, то $z = 0$, и тогда $\varphi = \delta$.

Это значит, что, взяв склонение этого светила по звёздной карте или, если надо знать его точнее, — из каталога, например 60° , получим и широту места на земле, равную 60° .

Для определения долготы надо иметь точные часы, идущие по времени начального меридиана или по времени известного пояса, которое может быть легко переведено во всемирное. Если светило наблюдается в зените, то оно расположено в плоскости меридиана данного места. Благодаря видимому вращению неба светило последовательно переходит из одного меридиана в другой. Когда оно находится в плоскости начального меридиана, его часовой угол там равняется нулю. Когда оно находится в плоскости меридиана данного места, часовой угол светила для начального меридиана в это время равен угловой разности между меридианом данного места и начальным меридианом, а это и есть долгота места.

Часовой угол найдётся из соотношения между звёздным временем и прямым восхождением (стр. 56):

$$s = \alpha + t, \quad \text{или} \quad t = s - \alpha,$$

а так как часовой угол светила для начального меридиана в данный момент равен долготе места, для которого светило находится в зените, то долгота получится, если из звёздного всемирного времени момента наблюдения вычесть прямое восхождение светила. Прямое же восхождение может быть взято с карты или из каталога. То место на Земле, для которого светило наблюдается в зените, называется *географическим местом светила*. Это место обозначится, если вообразить линию, идущую от центра Земли к светилу. Так легко можно было бы определить широту и долготу любого места как географического места некоторого светила. Но для этого должно быть установлено, что светило находится точно в зените места наблюдения, что не всегда возможно сделать, тем более на самолёте, да и редко данное светило может оказаться точно в зените данного места. Солнце и Луна в наших широтах никогда не бывают в зените.

§ 24. Определение местоположения по двум звёздам

Почти всегда приходится наблюдать светило в некотором удалении от зенита. В таком случае мы измеряем секстаном высоту светила и находим его зенитное расстояние, например высота $h = 63^\circ$, зенитное расстояние $z = 90^\circ - 63^\circ = 27^\circ$.

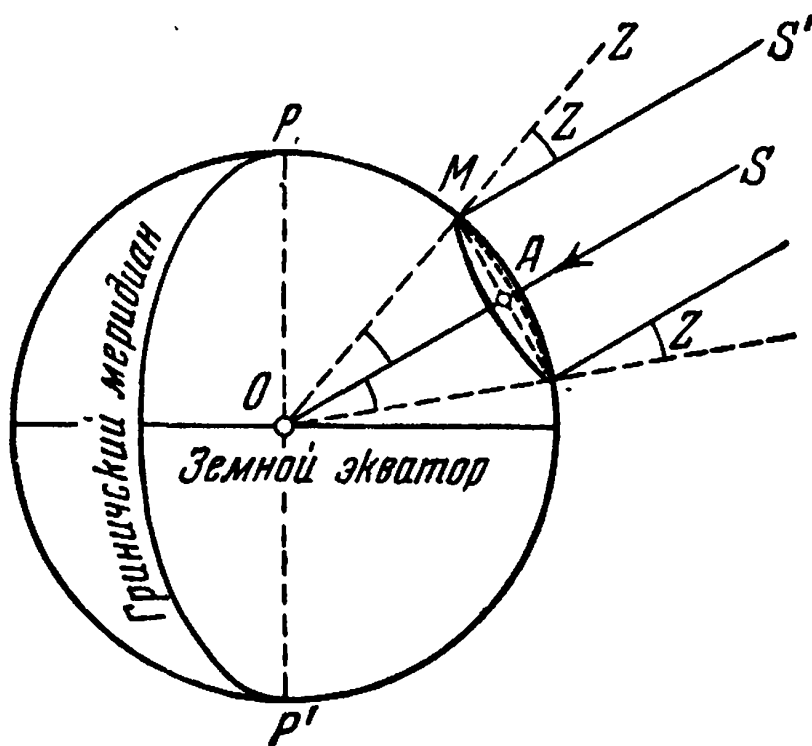


Рис. 58.

На рис. 58 точка M представляет место наблюдения на Земле, точка A — географическое место светила, MS' — направление на светило из места наблюдения, OS — направление на то же светило из центра Земли. Благодаря чрезвычайной удалённости светила линия MS' параллельна OS и $\angle ZMS' = \angle MOA$. Это значит, что мы находимся на Земле в таком же угловом удалении от географического места A светила, в каком светило на небесной сфере удалено от зенита, — в нашем примере 27° .

Надо заметить, что такое же зенитное расстояние светила, а стало быть, и такая же высота его над горизонтом будут не только для нашего места, но и для всех точек на Земле, образующих на земной поверхности круг с центром в географическом месте светила. Этот круг называют *кругом равных высот* или *позиционным кругом*.

Значит, определив зенитное расстояние светила, например 27° , мы можем только сказать, что мы удалены от географического места светила на 27° , но это может быть в любом месте позиционного круга с радиусом 27° .

Чтобы узнать, где мы находимся на этом круге, надо взять другое светило и по нему подобным же образом наметить круг нашего положения. Второе светило имеет

иную высоту и зенитное расстояние, для него мы получим иное географическое место A_1 и иной радиус позиционного круга A_1M (рис. 59).

Так как мы находимся на том и на другом круге, то точка пересечения кругов укажет место нашего положения на Земле. Хотя у двух кругов, собственно говоря, две точки пересечения, но они обычно значительно удалены на Земле друг от друга. Решить вопрос, какая из этих двух точек соответствует нашему положению,

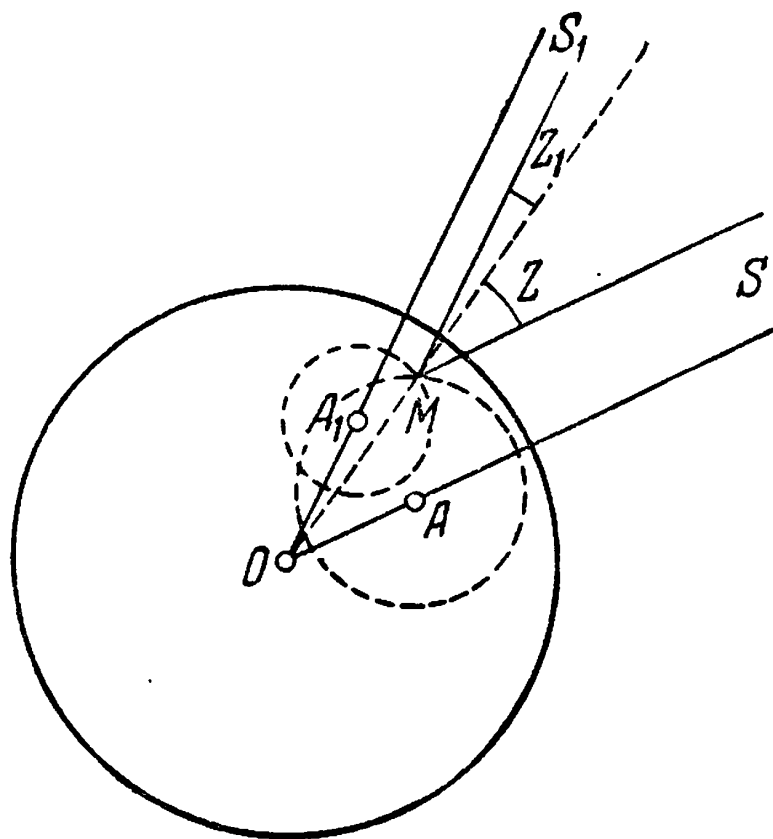


Рис. 59.

нию, не представляет труда, когда мы знаем приблизительно район, в котором находимся. На корабле можно иметь земной глобус, на котором и вычерчиваются нужные позиционные круги. Но можно не вычерчивать полных кругов, а намечать только линии вблизи обозначающейся точки их пересечения. Учитывая это, можно пользоваться картой в большом масштабе вместо глобуса.

Радиусы позиционных кругов на Земле очень велики. В самом деле, 1° дуги земного меридиана, как мы знаем, имеет длину около 110 км; значит, при сравнительно большой высоте светила, положим 70° , и зенитном расстоянии $90^\circ - 70^\circ = 20^\circ$ радиус позиционного круга получается 2200 км. Поэтому на практике без особой погреш-

ности можно изображать части кругов равных высот на карте большого масштаба в виде прямых линий. Эти отрезки как бы выпрямленных дуг называются *линиями положения* или *линиями равных высот*.

Каждая из этих линий как дуга окружности перпендикулярна к своему радиусу. Радиус же позиционного круга МА (рис. 59) — это линия на земной поверхности, проведённая от места нашего нахождения к географическому месту светила и лежащая в плоскости круга высоты (в вертикали) светила, которая определяется азимутом светила. Направление радиуса, можно сказать, совпадает с направлением на светило. Это значит, что если на карте наметить направление по азимуту светила, то линия равных высот будет к этому направлению перпендикулярна.

Чтобы провести линии равных высот как отрезки прямых на карте, мы не можем уже пользоваться географическим местом светила как центром и вычерчивать круги. Точка, через которую надо провести линию, находится на карте, исходя из приближённого местонахождения корабля или самолёта, а это местонахождение вычисляется на основании курса самолёта, его скорости и протекшего времени.

Вычисленное таким образом или, как его называют, «счислимое» местоположение, отмеченное на карте, даёт нам приближённую широту и долготу места ($\varphi_{\text{п}}$, $\lambda_{\text{п}}$). По показанию звездных часов мы будем иметь часовой угол: $t = s - \alpha$. Зная широту φ , склонение δ светила и часовой угол t , мы можем вычислить по одной из формул сферической астрономии (см. Приложение XIII, стр. 166), какова должна быть в данном месте высота светила.

По большей части счислимое место не совпадает с действительным. Если вычисленное зенитное расстояние больше наблюдаемого, то в действительности мы находимся ближе к географическому месту светила. В этом случае разность между вычисленным и наблюдаемым зенитным расстоянием покажет, как далеко по радиусу круга равных высот мы находимся от счислимого места в сторону светила. Если же вычисленное зенитное

расстояние окажется меньше наблюденного, то указанная разность будет отрицательной и покажет, как далеко мы находимся от счислимого места в сторону, противоположную от географического места светила. Вместо разности зенитных расстояний можно взять разность высот, только при этом из наблюденной высоты следует вычитать вычисленную.

Чтобы наметить на карте радиус круга равных высот, надо вычислить азимут светила по тем же данным, по которым вычисляли высоту.

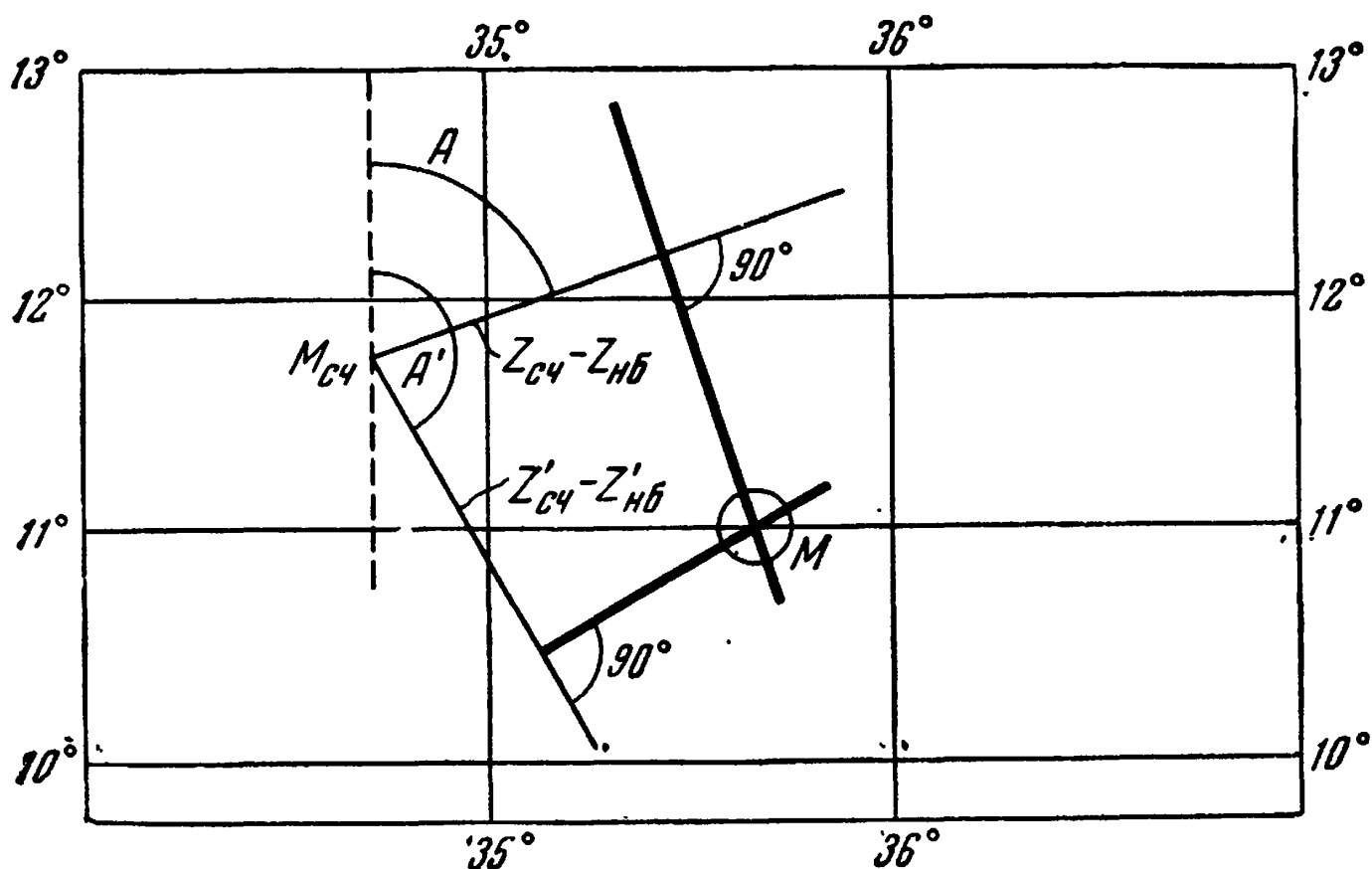


Рис. 60.

Азимут и разность между измеренной и вычисленной высотами называют *элементами линии положения*.

Имея эти элементы, отмечаем на карте счислимое место $M_{сч}$ и меридиан, проходящий через него. Под углом к меридиану, равным вычисленному азимуту, проводим прямую линию на карте, соответствующую радиусу круга равных высот. Затем откладываем на ней расстояние, соответствующее разности между наблюденной и вычисленной высотами в сторону светила при положительной разности и в противоположную сторону — при отрицательной разности (рис. 60).

Из полученной точки проводим перпендикулярно к линии азимута линию равных высот.

Наблюдая другую звезду и проделав те же операции, что и с первой звездой, проведём на карте вторую линию равных высот. Пересечение двух этих линий даёт расчётное местонахождение M корабля или самолёта (рис. 60), используемое для контроля пути. Вследствие движения наблюдателя это место может несколько отличаться от его действительного местонахождения.

Результаты получаются точнее всего, если у двух наблюдаемых звёзд азимуты отличаются, примерно, на 90° , потому что точка пересечения двух прямых определяется увереннее всего, если эти прямые пересекаются не под острым, а под прямым углом. Выбор звёзд для наблюдений может быть произведён на-глаз или с помощью бортовой звёздной карты, поставленной на данный день и час.

В пути вычислять высоту и азимут светила слишком долго и неудобно. Перед полётом заготавливаются специальные заранее вычисленные таблицы. Пользуясь этими таблицами, на которых берутся счисляемые высота и азимут выбранной звезды, и измерив наблюдаемую высоту этой звезды в определённый момент, наносят на карту линии равных высот, как это было показано выше.

§ 25. Определение местоположения по Солнцу

При дневных астрономических определениях места приходится пользоваться только одним светилом — Солнцем. Поэтому мы не можем получить одновременно двух линий равных высот, точка пересечения которых определит место на Земле. В этом случае можно вторично наблюдать Солнце уже через некоторый промежуток времени, когда благодаря суточному вращению изменится величина азимута Солнца. Поэтому надо, произведя первое наблюдение и прочертив первую линию равных высот, проследить внимательно за курсом самолёта и его скоростью, чтобы возможно точнее рассчитать

место на карте второго положения в момент второго измерения высоты Солнца.

На рис. 61 цифрой *I* помечена первая линия равных высот, проведённая в результате первого измерения высоты Солнца. По истечении некоторого промежутка времени самолёт перешёл из точки M_1 в точку M_2 . Произведя новое измерение высоты Солнца, построим для точки M_2 вторую линию равных высот, помеченную цифрой *II*. Чтобы определить истинное местоположение, перенесём параллельно в точку M_2 построение первой линии положения. Из точки M_2 проводим прямую, парал-

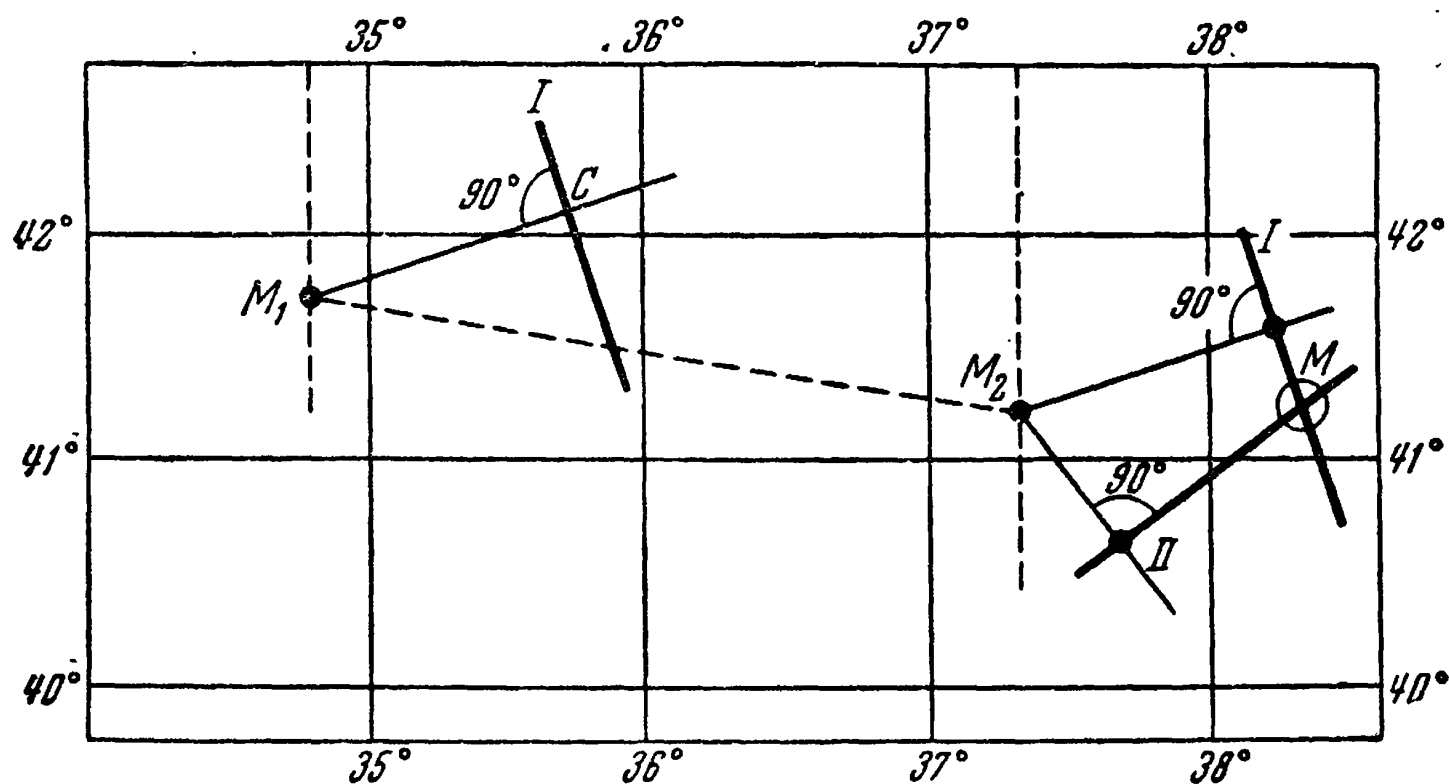


Рис. 61.

лельную прямой M_1C , и откладываем на ней от точки M_2 расстояние, равное M_1C . В полученной точке восстанавливаем перпендикуляр, который будет параллелен линии *I* равных высот. Эта линия пересечётся с линией *II* равных высот. Точка их пересечения *M* и есть местонахождение наблюдателя.

Иногда вторым светилом днём может служить Луна, для которой одновременно с Солнцем может быть также найдена линия равных высот. Под вечер, ещё до наступления темноты, можно наблюдать яркие планеты, например Венеру, Юпитер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в настоящей книге способы астрономической ориентировки только тогда могут быть по-настоящему и при всякой нужде быстро использованы, когда они будут не только хорошо поняты, но и усвоены путём многократных упражнений в наблюдениях простым глазом над небом, притом в разное время и при различных расположениях светил по отношению к горизонту и к полюсу мира (Полярной звезде).

Если вначале надо уделять для этих упражнений особое время, то в дальнейшем следует только каждый раз, когда мы оказываемся под открытым безоблачным небом, стараться найти на нём те или иные созвездия и отдельные яркие звёзды, начиная с Большой Медведицы и Полярной звезды, замечать их расположение, отмечать направление меридиана, кульминирующие звёзды, звёзды в восточной стороне, звёзды в западной стороне неба, определять время по стрелке Б. Медведицы и т. д. Днём следует замечать положение Солнца и Луны, если последняя видна, и по ним определять основные направления относительно горизонта и время, по форме Луны — рассчитывать, какая часть ночи будет сопровождаться лунным освещением.

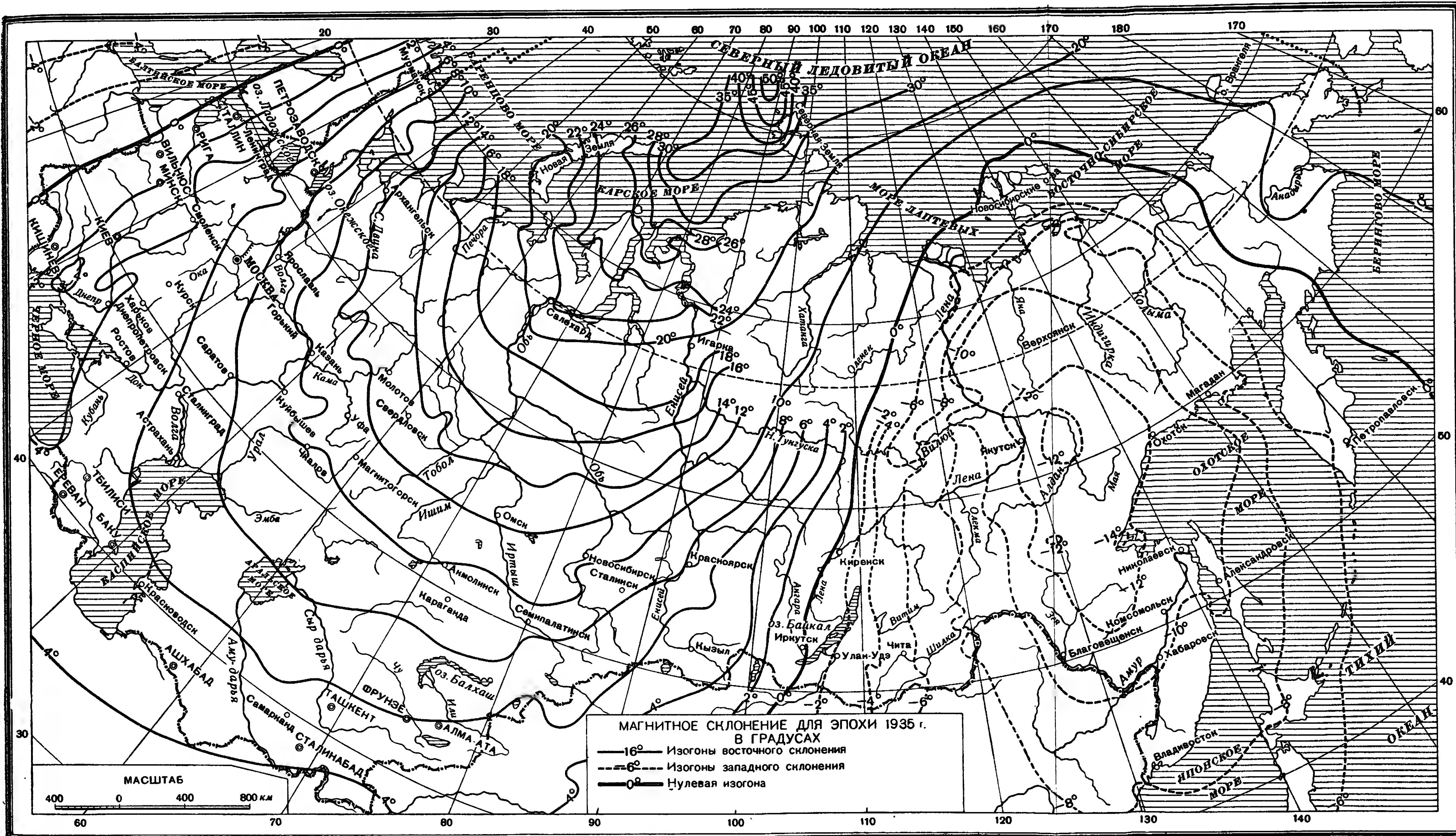
Для справок и проверки себя при наблюдениях неба следует из прилагаемых к книге листов со звёздной картой и кругом для выреза сделать подвижную карту, как это указано в пояснениях к ней. Установив карту на данный день и час, легко освежить в памяти все названия звёзд, видимых в это время на ночном небе, и их расположение по отношению к горизонту, а потом найти это всё на небе вечером.

Тем, кто хотел бы получить более подробное знакомство с методами практической астрономии, применяемыми, например, в мореходном деле или в авиации, а также узнать больше о самих небесных светилах, можно рекомендовать прочесть ещё книги, примерный список которых мы здесь приводим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. В. К у н и ц к и й, Авиационная астрономия, Воениздат, 1947.
 2. И. Т. С п и р и н, Полёты в Арктике, Изд. Главсевморпути, 1940.
 3. П. И. М и х а й л о в, Мореходная астрономия, Изд. Военно-морского училища связи, 1936.
 4. Б. П. Х л ю с т и н, Мореходная астрономия, Изд. «Морской транспорт», 1948
 5. М. И. Г у р е в и ч, Астрономическая навигация, Речиздат, 1940.
 6. Б. А. В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в, Очерки о вселенной, Гостехиздат, 1952.
 7. П. И. П о п о в, К. Л. Б а е в, Б. А. В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в, Р. В. К у н и ц к и й, Астрономия, Учпедгиз, 1953.
 8. Р. В. К у н и ц к и й, Курс авиационной астрономии, Военное изд-во Министерства Вооруженных Сил СССР, 1949.
 9. С. Н. Б л а ж к о, Курс практической астрономии, Гостехиздат, 1951.
 10. Астрономический календарь на каждый год, Гостехиздат.
 11. Школьный астрономический календарь на каждый год, Учпедгиз.
 12. П. Г. К у л и к о в с к и й, Справочник астронома-любителя, Гостехиздат, 1949.
-

ПРИЛОЖЕНИЯ



ПРИЛОЖЕНИЕ I

ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Буквы	Названия	Буквы	Названия
Α, α	альфа	Ν, ν	ни
Β, β	бэта	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	гамма	Ο, ο	омикрон
Δ, δ	дельта	Π, π	пи
Ε, ε	эпсилон	Ρ, ρ	ро
Ζ, ζ	дзета	Σ, σ, ς	сигма
Η, η	эта	Τ, τ	тау
Θ, θ, ϑ	тэта	Υ, υ	ипсилон
Ι, ι	йота	Φ, φ	фи
Κ, κ	каппа	Χ, χ	хи
Λ, λ	ламбда	Ψ, ψ	пси
Μ, μ	ми	Ω, ω	омега

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ПЛАНЕТЫ

(видимые простым глазом)

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца		Период обращения вокруг Солнца в годах	Диаметры, выгаженные в земных диаметрах	Видимая звёздная величина (в наибольшем блеске)
	в млн. км	по отношению к земному			
Меркурий	58	0,39	0,24	0,40	— 1,5
Венера	108	0,72	0,62	0,99	— 4,9
Марс	228	1,52	1,88	0,54	— 1,8
Юпитер	778	5,20	11,86	11,1	— 2,4
Сатурн	1426	9,54	29,46	9,4	— 0,2

ПРИЛОЖЕНИЕ III

СПИСОК СОЗВЕЗДИЙ

Таблица даёт названия всех 88 созвездий неба, принятые международным соглашением 1922 г., и соответствующие латинские названия. Зодиакальные созвездия отмечены буквой З, созвездия, лежащие целиком или большей своей частью к северу от склонения $+40^\circ$, — буквой С и созвездия к югу от склонения -40° — буквой Ю. Созвездия *Carina* (Киль), *Puppis* (Корма), *Pyxis* (Компас) и *Vela* (Парус) прежде считались за одно созвездие *Argo Navis* (Корабль Арго).

Русские названия	Латинские названия	Примечания	Русские названия	Латинские названия	Примечания
Андромеда	Andromeda		Дракон	Draco	С
Близнецы	Gemini	З	Единорог	Monoceros	
Большая Медведица	Ursa Major	С	Жеребёнок (Малый Конь)	Equuleus	
Большой Пёс	Canis Major		Жертвенник	Ara	Ю
Весы	Libra	З	Живописец	Pictor	Ю
Водолей	Aquarius	З	Жираф	Camelopardalis	С
Возничий	Auriga				
Волк	Lupus	Ю	Журавль	Grus	Ю
Волопас	Bootes		Заяц	Lepus	
Волосы Вероники	Coma Berenices		Змееносец	Ophiuchus	
Ворон	Corvus		Змея	Serpens	
Геркулес	Hercules		Золотая Рыба	Dorado	Ю
Гидра	Hydra		Индеец	Indus	Ю
Голубь	Columba		Кассиопея	Cassiopeja	С
Гончие Собаки	Canes Venatici		Киль	Carina	Ю
	Virgo		Кит	Cetus	
Дева	Delphinus	З	Козерог	Capricornus	З
Дельфин			Компас	Pyxis	
			Корма	Puppis	
			Лебедь	Cygnus	

Продолжение приложения III

Русские названия	Латинские названия	Примечания	Русские названия	Латинские названия	Примечания
Лев	Leo	З	Секстан	Sextans	
Летучая Рыба	Volans	Ю	Сетка	Reticulum	Ю
Лира	Lyra		Скорпион	Scorpius	З
Лисичка	Vulpecula		Скульптор	Sculptor	
Малая Медве- дица	Ursa Minor	С	Столовая Гора	Mensa	Ю
Малый Лев	Leo Minor		Стрела	Sagitta	
Малый Пёс	Canis Minor		Стрелец	Sagittarius	З
Микроскоп	Microscopium	Ю	Телескоп	Telescopium	Ю
Муха	Musca	Ю	Телец	Taurus	З
Насос	Antlia		Треугольник	Triangulum	
Наугольник	Norma	Ю	Тукан	Tucana	Ю
Овен	Aries	З	Феникс	Phoenix	Ю
Октан	Octans	Ю	Хамелеон	Chamaeleon	Ю
Орёл	Aquila		Центавр	Centaurus	Ю
Орион	Orion		Цефей	Cepheus	С
Павлин	Pavo	Ю	Циркуль	Circinus	Ю
Парус	Vela	Ю	Часы	Horologium	Ю
Пегас	Pegasus		Чаша	Crater	
Персей	Perseus	С	Щит	Scutum	
Печь	Fornax		Эридан	Eridan	
Райская Птица	Avus	Ю	Южная Гидра	Hydrus	Ю
Рак	Cancer	З	Южная Корона	Corona Austrina	
Резец	Caelum		Южная Рыба	Piscis Austrinus	
Рыбы	Pisces	З	Южный Крест	Cruх	Ю
Рысь	Lynx	С	Южный Тре- угольник	Triangulum Australe	Ю
Северная Ко- рона	Corona Borealis		Ящерица	Lacerta	С

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

СПИСОК ЯРКИХ ЗВЁЗД
С ИХ ЭКВАТОРИАЛЬНЫМИ КООРДИНАТАМИ

№	Название	Звёздная величина	Прямое восхо- ждение	Склоне- ние
1	α Андромеды (<i>Альферац</i>)	2,2	0 ^h 5 ^m 8	+28° 47'
2	β Кассиопеи	2,4	0 6,5	+58 50
3	α Кассиопеи	2,1—2,6	0 37,7	+56 14
4	β Кита	2,2	0 41,1	—18 18
5	γ Кассиопеи	2,2	0 53,7	+60 25
6	β Андромеды	2,4	1 6,9	+35 19
7	α М. Медведицы (<i>Полярная</i>)	2,1	1 48,8	+89 00
8	γ Андромеды	2,3	2 0,8	+42 03
9	α Овна	2,2	2 4,3	+23 12
10	α Персея	1,9	3 20,7	+49 40
11	α Тельца (<i>Альдебаран</i>)	1,1	4 33,0	+16 24
12	β Ориона (<i>Ригель</i>)	0,3	5 12,1	— 8 16
13	α Возничего (<i>Капелла</i>)	0,2	5 13,0	+45 57
14	γ Ориона (<i>Беллятрикс</i>)	1,7	5 22,4	+ 6 18
15	β Тельца	1,8	5 23,1	+28 34
16	δ Ориона	2,5	5 29,5	— 0 20
17	ϵ Ориона	1,8	5 33,7	— 1 14
18	ζ Ориона	2,0	5 38,2	— 1 58
19	χ Ориона	2,2	5 45,4	— 9 41
20	α Ориона (<i>Бетельгейзе</i>)	0,9—1,2	5 52,5	+ 7 24
21	β Возничего	2,1	5 55,9	+44 57
22	β Б. Пса	2,0	6 20,5	—17 56
23	γ Близнецов	1,9	6 34,8	+16 27
24	α Б. Пса (<i>Сириус</i>)	—1,6	6 42,9	—16 38
25	ϵ Б. Пса	1,6	6 56,7	—28 54

Продолжение приложения IV

№	Название	Звёздная величина	Прямое восхо- ждение	Склоне- ние
26	δ Б. Пса	2,0	7 ^h 6 ^m 4	—26° 18'
27	η Б. Пса	2,4	7 22,1	—29 12
28	α Близнецов (<i>Кастор</i>)	1,6	7 31,2	+32 01
29	α М. Пса (<i>Процион</i>)	0,5	7 36,7	+ 5 22
30	β Близнецов (<i>Поллукс</i>)	1,2	7 42,3	+28 10
31	α Гидры	2,2	9 25,1	— 8 25
32	α Льва (<i>Регул</i>)	1,3	10 5,7	+12 15
33	β Б. Медведицы (<i>Мирак</i>)	2,4	10 58,8	+56 41
34	α Б. Медведицы (<i>Дубхе</i>)	2,0	11 0,7	+62 04
35	β Льва (<i>Денебола</i>)	2,2	11 46,5	+14 53
36	γ Б. Медведицы	2,5	11 51,2	+54 01
37	ε Б. Медведицы	1,7	12 51,8	+56 16
38	ζ Б. Медведицы (<i>Мицар</i>)	2,4	13 21,9	+55 13
39	α Девы (<i>Спика</i>)	1,2	13 22,6	—10 52
40	η Б. Медведицы	1,9	13 45,6	+49 36
41	α Волопаса (<i>Арктур</i>)	0,2	14 13,4	+19 29
42	β М. Медведицы	2,2	14 50,8	+74 23
43	α Северной Короны (<i>Гемма</i>)	2,3	15 32,6	+26 54
44	δ Скорпиона	2,5	15 57,4	—22 28
45	α Скорпиона (<i>Антарес</i>)	1,2	16 26,3	—26 18
46	α Змееносца	2,1	17 32,6	+12 36
47	γ Дракона	2,4	17 55,4	+51 30
48	α Лиры (<i>Вега</i>)	0,1	18 35,2	+38 44
49	σ Стрельца	2,1	18 52,2	—26 22
50	α Орла (<i>Альтаир</i>)	0,9	19 48,3	+ 8 43
51	γ Лебедя	2,3	20 20,4	+40 04
52	α Лебедя (<i>Денеб</i>)	1,3	20 39,7	+45 05
53	ε Пегаса	2,5	21 41,7	+ 9 37
54	α Южной Рыбы (<i>Фомальгаут</i>)	1,3	22 54,9	—29 55

ПРИЛОЖЕНИЕ V
ТАБЛИЦА ШИРОТ И ДОЛГОТ (К ВОСТОКУ ОТ ГРИНИЧА)
ГЛАВНЕЙШИХ ГОРОДОВ СССР

Город	Широта	Долгота	Пояс	Город	Широта	Долгота	Пояс
	° /	ч. м.			° /	ч. м.	
Алма-Ата . .	43 16	5 7,8	V	Иркутск . . .	52 16	6 57,1	VII
Архангельск .	64 34	2 42,1	II	Казань . . .	55 48	3 16,5	III
Астрахань . .	46 21	3 12,2	III	Калинин . . .	56 52	2 23,6	II
Ашхабад . .	37 57	3 53,6	IV	Калининград .	54 42	1 22,0	II
Баку	40 21	3 19,4	III	Калуга . . .	54 31	2 25,0	II
Батуми . . .	41 40	2 46,5	III	Каменец-По-			
Белосток . .	53 08	1 39,8	II	дольск . .	48 40	1 46,3	II
Вильнюс . .	54 41	1 41,0	II	Каунас . . .	54 54	1 35,5	II
Витебск . . .	55 10	2 0,8	II	Киев	50 27	2 2,0	II
Владивосток .	43 07	8 47,5	IX	Киров	58 36	3 18,7	III
Владимир . .	56 08	2 41,6	II	Кишинёв . .	47 02	1 55,3	II
Вологда . . .	59 13	2 39,5	II	Кострома . .	57 46	2 43,7	III
Воронеж . . .	51 39	2 36,8	II	Краснодар . .	45 03	2 35,8	III
Выборг . . .	60 43	1 54,9	II	Красноярск .	56 01	6 11,4	VI
Ганджа . . .	40 41	3 5,4	IV	Куйбышев . .	53 11	3 20,3	III
Гомель	52 25	2 4,1	II	Курск	51 44	2 24,8	II
Горький . . .	56 20	2 56,0	III	Кутаиси . . .	42 15	2 50,8	III
Дзауджикау .	43 02	2 58,7	III	Ленинград . .	59 57	2 1,0	II
Днепро-				Львов	49 50	1 36,1	II
петровск . .	48 28	2 20,3	II	Махач-Кала .	42 59	3 10,0	III
Енисейск . .	58 27	6 8,8	VI	Минск	53 54	1 50,2	II
Ереван . . .	40 14	2 58,0	III	Могилёв . . .	53 54	2 1,3	II
Житомир . .	50 15	1 54,6	II	Молотов . . .	58 01	3 45,1	IV
Запорожье . .	47 50	2 20,7	II	Москва	55 45	2 30,3	II
Ивано-				Мурманск . .	68 59	2 12,2	II
ново	57 0	2 43,9	II				

Продолжение приложения V

Город	Широта	Долгота	Пояс	Город	Широта	Долгота	Пояс
	° /	ч. м.			° /	ч. м.	
Николаев . .	46 58	2 7,9	II	Сталинабад .	38 33	4 35,6	V
Николаевск на Амуре .	53 08	9 22,9	IX	Сталинград .	48 42	2 58,1	III
Новгород . .	58 31	2 5,1	II	Сухуми . . .	43 0	2 44,0	III
Новосибирск	55 1	5 31,7	VI	Таганрог . .	47 13	2 35,8	III
Новочер- касск . . .	47 25	2 40,4	II	Таллин . . .	59 26	1 39,0	II
Одесса . . .	46 29	2 3,0	II	Тамбов . . .	52 44	2 45,8	III
Омск	54 59	4 53,5	V	Ташкент . .	41 18	4 37,2	V
Орёл	52 58	2 24,3	II	Тбилиси . .	41 42	2 59,2	III
Охотск . . .	59 21	9 33,2	X	Тобольск . .	58 12	4 33,1	V
Пенза	53 11	3 0,1	III	Томск	56 30	5 39,8	VI
Петрозаводск	61 47	2 17,6	II	Тула	54 12	2 30,5	II
Петропавловск на Камчатке	53 0	10 34,9	XI	Ужгород . .	48 38	1 29,0	II
Полтава . . .	49 35	2 18,3	II	Ульяновск .	54 19	3 13,6	III
Псков	57 49	1 53,3	II	Уральск . . .	51 12	3 25,4	III
Рига	56 57	1 36,5	II	Уфа	54 43	3 43,8	IV
Ростов на Дону	47 13	2 38,8	II	Фрунзе . . .	42 53	4 58,5	V
Рязань	54 38	2 39,0	II	Хабаровск .	48 28	9 0,2	IX
Самарканд . .	39 39	4 27,9	IV	Харьков . . .	50 00	2 24,9	II
Саратов . . .	51 32	3 4,3	III	Херсон . . .	46 38	2 10,5	II
Свердловск .	56 49	4 2,4	IV	Челябинск . .	55 10	4 5,4	IV
Севастополь .	44 37	2 14,1	II	Чернигов . .	51 29	2 5,2	II
Симферополь	44 57	2 16,4	II	Черновцы . .	48 18	1 43,8	II
Смоленск . .	54 46	2 18,2	II	Чита	52 1	7 34,0	VIII
Ставрополь .	43 02	2 48,0	II	Чкалов . . .	51 45	3 40,4	IV
				Щербаков . .	58 3	2 35,5	III
				Якутск	62 02	8 39,0	VII
				Ярославль . .	57 38	2 39,5	II

ПРИЛОЖЕНИЕ VI
ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ
В ЕДИНИЦЫ ЗВЁЗДНОГО

Часы		Минуты			
Среднее время	Поправка прибавляется	Среднее время	Поправка прибавляется	Среднее время	Поправка прибавляется
1 ^ч	0 ^м 9 ^с ,86	1 ^м	0 ^с ,16	31 ^м	5 ^с ,09
2	0 19,71	2	0,33	32	5,26
3	0 29,57	3	0,49	33	5,42
4	0 39,43	4	0,66	34	5,60
5	0 49,28	5	0,82	35	5,76
6	0 59,14	6	0,99	36	5,91
7	1 9,00	7	1,15	37	6,08
8	1 18,85	8	1,31	38	6,24
9	1 28,71	9	1,48	39	6,41
10	1 38,56	10	1,64	40	6,58
11	1 48,42	11	1,80	41	6,74
12	1 58,28	12	1,97	42	6,90
13	2 8,13	13	2,13	43	7,06
14	2 18,00	14	2,30	44	7,23
15	2 27,85	15	2,46	45	7,40
16	2 37,70	16	2,63	46	7,56
17	2 47,56	17	2,80	47	7,72
18	2 57,42	18	2,96	48	7,89
19	3 7,27	19	3,12	49	8,05
20	3 17,13	20	3,29	50	8,21
21	3 27,00	21	3,45	51	8,38
22	3 36,84	22	3,61	52	8,54
23	3 46,70	23	3,78	53	8,71
24	3 56,56	24	3,94	54	8,87
Секунды		25	4,11	55	9,04
10 ^с	0 0,03	26	4,27	56	9,20
20	0 0,05	27	4,44	57	9,36
30	0 0,08	28	4,60	58	9,53
40	0, 011	29	4,76	59	9,70
50	0, 014	30	4,93	60	9,86

Пример. Перевести 22^ч 14^м 15^с единиц среднего времени в звёздные.
 $(22^ч + 3^м 36^с,84) + (14^м + 2^с,30) + (15^с + 0^с,04) = 22^ч 17^м 54^с,18$.
Итак, 22^ч 14^м 15^с средних = 22^ч 17^м 54^с,18 звёздных.

ПРИЛОЖЕНИЕ VII
ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ ЗВЁЗДНОГО ВРЕМЕНИ В ЕДИНИЦЫ
СРЕДНЕГО

Часы		Минуты			
Звёздное время	Поправка вычитается	Звёздное время	Поправка вычитается	Звёздное время	Поправка вычитается
1 ^ч	0 ^м 9 ^с ,83	1 ^м	0 ^с ,16	31 ^м	5 ^с ,08
2	0 19,66	2	0,33	32	5,24
3	0 29,50	3	0,49	33	5,41
4	0 39,32	4	0,66	34	5,57
5	0 49,15	5	0,82	35	5,73
6	0 58,98	6	0,98	36	5,90
7	1 8,81	7	1,15	37	6,06
8	1 18,64	8	1,31	38	6,23
9	1 28,47	9	1,47	39	6,39
10	1 38,30	10	1,64	40	6,55
11	1 48,12	11	1,80	41	6,72
12	1 57,96	12	1,97	42	7,88
13	2 7,80	13	2,13	43	7,04
14	2 17,61	14	2,29	44	7,21
15	2 27,44	15	2,46	45	7,37
16	2 37,27	16	2,62	46	7,54
17	2 47,10	17	2,78	47	7,69
18	2 56,93	18	2,95	48	7,86
19	3 6,76	19	3,11	49	8,03
20	3 16,60	20	3,28	50	8,19
21	3 26,42	21	3,44	51	8,36
22	3 36,25	22	3,60	52	8,52
23	3 46,08	23	3,77	53	8,68
24	3 55,90	24	3,93	54	8,85
Секунды		25	4,10	55	9,01
10 ^с	0 0,03	26	4,26	56	9,17
20	0 0,05	27	4,42	57	9,33
30	0 0,08	28	4,59	58	9,50
40	0 0,11	29	4,75	59	9,67
50	0 0,14	30	4,91	60	9,83

П р и м е р. Выразить в единицах среднего времени 6^ч51^м32^с звёздного времени.

$$(6^{\text{ч}} - 58^{\text{с}},98) + (51^{\text{м}} - 8^{\text{с}},36) + (32^{\text{с}} - 0^{\text{с}},08) = 6^{\text{ч}}50^{\text{м}}24^{\text{с}},58.$$

Значит, 6^ч51^м32^с звёздных = 6^ч50^м24^с,58 средних.

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ДВУМЯ СИСТЕМАМИ
ИЗМЕРЕНИЙ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ

	0 ^ч	1 ^ч	2 ^ч	3 ^ч	4 ^ч	5 ^ч	6 ^ч	7 ^ч	8 ^ч	9 ^ч	10 ^ч	11 ^ч	
00 ^м	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	00 ^м
04	1	16	31	46	61	76	91	106	121	136	151	166	04
08	2	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	08
12	3	18	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	12
16	4	19	34	49	64	79	94	109	124	139	154	169	16
20	5	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	20
24	6	21	36	51	66	81	96	111	126	141	156	171	24
28	7	22	37	52	67	82	97	112	127	142	157	172	28
32	8	23	38	53	68	83	98	113	128	143	158	173	32
36	9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	36
40	10	25	40	55	70	85	100	115	130	145	160	175	40
44	11	26	41	56	71	86	101	116	131	146	161	176	44
48	12	27	42	57	72	87	102	117	132	147	162	177	48
52	13	28	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	52
56	14	29	44	59	74	89	104	119	134	149	164	179	56
	12 ^ч	13 ^ч	14 ^ч	15 ^ч	16 ^ч	17 ^ч	18 ^ч	19 ^ч	20 ^ч	21 ^ч	22 ^ч	23 ^ч	
00 ^м	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	00 ^м
04	181	196	211	226	241	256	271	286	301	316	331	346	04
08	182	197	212	227	242	257	272	287	302	317	332	347	08
12	183	198	213	228	243	258	273	288	303	318	333	348	12
16	184	199	214	229	244	259	274	289	304	319	334	349	16
20	185	200	215	230	245	260	275	290	305	320	335	350	20
24	186	201	216	231	246	261	276	291	306	321	336	351	24
28	187	202	217	232	247	262	277	292	307	322	337	352	28
32	188	203	218	233	248	263	278	293	308	323	338	353	32
36	189	204	219	234	249	264	279	294	309	324	339	354	36
40	190	205	220	235	250	265	280	295	310	325	340	355	40
44	191	206	221	236	251	266	281	296	311	326	341	356	44
48	192	207	222	237	252	267	282	297	312	327	342	357	48
52	193	208	223	238	253	268	283	298	313	328	343	358	52
56	194	209	224	239	254	269	284	299	314	329	344	359	56

ПРИЛОЖЕНИЕ IX
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ГРАЖДАНСКИХ СУМЕРЕК

Дата \ φ		40°	44°	48°	52°	56°	60°	64°
Январь	1	0 ^ч 32 ^м	0 ^ч 35 ^м	0 ^ч 39 ^м	0 ^ч 43 ^м	0 ^ч 50 ^м	1 ^ч 1 ^м	1 ^ч 19 ^м
	11	0 32	0 34	0 38	0 42	0 48	0 58	1 13
	21	0 31	0 33	0 36	0 40	0 46	0 54	1 7
	31	0 30	0 32	0 35	0 38	0 43	0 50	1 2
Февраль	10	0 29	0 31	0 34	0 37	0 41	0 47	0 57
	20	0 28	0 30	0 33	0 36	0 40	0 45	0 53
	2	0 28	0 30	0 32	0 35	0 39	0 43	0 50
Март	12	0 28	0 30	0 32	0 35	0 38	0 43	0 49
	22	0 28	0 30	0 32	0 35	0 38	0 43	0 49
	1	0 28	0 30	0 32	0 36	0 39	0 45	0 52
Апрель	11	0 29	0 31	0 33	0 37	0 40	0 47	0 55
	21	0 29	0 32	0 34	0 38	0 43	0 50	1 2
	1	0 30	0 33	0 35	0 40	0 46	0 56	1 12
Май	11	0 31	0 34	0 37	0 43	0 50	1 3	1 32
	21	0 33	0 36	0 40	0 46	0 55	1 14	—
	31	0 34	0 37	0 42	0 49	1 1	1 30	—
Июнь	10	0 34	0 38	0 43	0 52	1 6	1 51	—
	20	0 35	0 38	0 44	0 53	1 8	2 16	—
	30	0 35	0 38	0 44	0 52	1 7	2 2	—
Июль	10	0 34	0 38	0 43	0 49	1 4	1 39	—
	20	0 33	0 37	0 42	0 48	0 59	1 22	—
	30	0 33	0 36	0 40	0 46	0 54	1 10	1 54
Август	9	0 32	0 35	0 38	0 43	0 50	1 1	1 21
	19	0 31	0 34	0 37	0 41	0 47	0 55	1 8
	29	0 30	0 33	0 35	0 39	0 44	0 51	1 1
Сентябрь	8	0 29	0 32	0 34	0 38	0 42	0 48	0 57
	18	0 29	0 32	0 34	0 37	0 41	0 46	0 54
	28	0 29	0 31	0 33	0 37	0 40	0 46	0 52
Октябрь	8	0 29	0 31	0 34	0 37	0 40	0 46	0 52
	18	0 30	0 32	0 34	0 38	0 41	0 47	0 53
	28	0 30	0 32	0 35	0 39	0 43	0 49	0 56
Ноябрь	7	0 31	0 33	0 36	0 40	0 44	0 51	1 0
	17	0 31	0 33	0 37	0 41	0 46	0 54	1 6
	27	0 32	0 34	0 38	0 42	0 48	0 57	1 12
Декабрь	7	0 32	0 35	0 38	0 43	0 50	1 0	1 17
	17	0 32	0 35	0 39	0 44	0 51	1 2	1 22
	27	0 32	0 35	0 39	0 44	0 51	1 2	1 21

Сумерки длятся всю ночь; φ 61° — с 6 июня по 8 июля;
 φ 62° — с 30 мая по 16 июля; φ 63° — с 24 мая по 21 июля;
 φ 64° — с 19 мая по 26 июля.

ПРИЛОЖЕНИЕ X
НАТУРАЛЬНЫЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Угол	sin	cos	tg	ctg		Угол	sin	cos	tg	ctg	
0° 0'	0,00	1,00	0,00	∞	90° 0'	23° 0'	0,39	0,92	0,42	2,36	67° 0'
30	0,01	1,00	0,01	114,59	30	30	0,40	0,92	0,43	2,30	30
1 0	0,02	1,00	0,02	57,29	89 0	24 0	0,41	0,91	0,45	2,25	66 0
30	0,03	1,00	0,03	33,19	30	30	0,41	0,91	0,46	2,19	30
2 0	0,03	1,00	0,03	28,64	88 0	25 0	0,42	0,91	0,47	2,14	65 0
30	0,04	1,00	0,04	22,90	30	30	0,43	0,90	0,48	2,10	30
3 0	0,05	1,00	0,05	19,08	87 0	26 0	0,44	0,90	0,49	2,05	64 0
30	0,06	1,00	0,06	16,35	30	30	0,45	0,89	0,50	2,01	30
4 0	0,07	1,00	0,07	14,30	86 0	27 0	0,45	0,89	0,51	1,96	63 0
30	0,08	1,00	0,08	12,71	30	30	0,46	0,89	0,52	1,92	30
5 0	0,09	1,00	0,09	11,43	85 0	28 0	0,47	0,88	0,53	1,88	62 0
30	0,10	1,00	0,10	10,38	30	30	0,48	0,88	0,54	1,84	30
6 0	0,10	0,99	0,11	9,51	84 0	29 0	0,48	0,87	0,55	1,80	61 0
30	0,11	0,99	0,11	8,78	30	30	0,49	0,87	0,57	1,77	30
7 0	0,12	0,99	0,12	8,14	83 0	30 0	0,50	0,87	0,58	1,73	60 0
30	0,13	0,99	0,13	7,60	30	30	0,51	0,86	0,59	1,70	30
8 0	0,14	0,99	0,14	7,11	82 0	31 0	0,51	0,86	0,60	1,66	59 0
30	0,15	0,99	0,15	6,69	30	30	0,52	0,85	0,61	1,63	30
9 0	0,16	0,99	0,16	6,31	81 0	32 0	0,53	0,85	0,62	1,60	58 0
30	0,16	0,99	0,17	5,98	30	30	0,54	0,84	0,64	1,57	30
10 0	0,17	0,98	0,18	5,67	80 0	33 0	0,54	0,84	0,65	1,54	57 0
30	0,18	0,98	0,19	5,40	30	30	0,55	0,83	0,66	1,51	30
11 0	0,19	0,98	0,19	5,14	79 0	34 0	0,56	0,83	0,67	1,48	56 0
30	0,20	0,98	0,20	4,91	30	30	0,57	0,82	0,69	1,45	30
12 0	0,21	0,98	0,21	4,70	78 0	35 0	0,57	0,81	0,70	1,43	55 0
30	0,22	0,98	0,22	4,51	30	30	0,58	0,81	0,71	1,40	30
13 0	0,22	0,97	0,23	4,33	77 0	36 0	0,59	0,81	0,73	1,38	54 0
30	0,23	0,97	0,24	4,16	30	30	0,59	0,80	0,74	1,35	30
14 0	0,24	0,97	0,25	4,01	76 0	37 0	0,60	0,80	0,75	1,33	53 0
30	0,25	0,97	0,26	3,87	30	30	0,61	0,79	0,77	1,30	30
15 0	0,26	0,97	0,27	3,73	75 0	38 0	0,62	0,79	0,78	1,28	52 0
30	0,27	0,96	0,28	3,61	30	30	0,62	0,78	0,80	1,26	30
16 0	0,28	0,96	0,29	3,49	74 0	39 0	0,63	0,78	0,81	1,23	51 0
30	0,28	0,96	0,30	3,38	30	30	0,64	0,77	0,82	1,21	30
17 0	0,29	0,96	0,31	3,27	73 0	40 0	0,64	0,77	0,84	1,19	50 0
30	0,30	0,95	0,32	3,17	30	30	0,65	0,76	0,85	1,17	30
18 0	0,31	0,95	0,32	3,08	72 0	41 0	0,66	0,75	0,87	1,15	49 0
30	0,32	0,95	0,33	2,99	30	30	0,66	0,75	0,88	1,13	30
19 0	0,33	0,95	0,34	2,90	71 0	42 0	0,67	0,74	0,90	1,11	48 0
30	0,33	0,94	0,35	2,82	30	30	0,68	0,74	0,92	1,09	30
20 0	0,34	0,94	0,36	2,75	70 0	43 0	0,68	0,73	0,93	1,07	47 0
30	0,35	0,94	0,37	2,67	30	30	0,69	0,73	0,95	1,05	30
21 0	0,36	0,93	0,38	2,60	69 0	44 0	0,69	0,72	0,97	1,04	46 0
30	0,37	0,93	0,39	2,54	30	30	0,70	0,71	0,98	1,02	30
22 0	0,37	0,93	0,40	2,47	68 0	45 0	0,71	0,71	1,00	1,00	45 0
30	0,38	0,92	0,41	2,41	30						
	cos	sin	ctg	tg	Угол ↑		cos	sin	ctg	tg	Угол ↑

Углы от 45° до 90° помещены в правой крайней колонке, счёт их ведётся снизу вверх и соответствующие им функции указаны внизу. Например, $\sin 53^\circ = 0,80$; $\operatorname{tg} 70^\circ 30' = 2,82$.

Для промежуточных значений углов берут значения функций ближайших углов в таблице и рассчитывают соответствующую разницу. Например, $\operatorname{ctg} 21^\circ 20'$ заключается между $\operatorname{ctg} 21^\circ$ и $\operatorname{ctg} 21^\circ 30'$. В этом промежутке значение функции убывает от 2,60 до 2,54, т. е. на 0,06. За каждые 10' убывание на 0,02, а за 20' убывание 0,04. Следовательно, $\operatorname{ctg} 21^\circ 20' = 2,56$.

ПРИЛОЖЕНИЕ XI

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ СОЛНЦА,
ЗВЁЗДНОЕ ВРЕМЯ И УРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ

		Прямое восхожде- ние	Склонение	Звёздное время в полночь	Уравнение времени
Январь	1	18 ^h 44 ^m	— 23°,1	6 ^h 40 ^m	+ 3 ^m 15 ^s
	11	19 27	— 21,9	7 20	+ 7 40
	21	20 10	— 20,1	7 59	+ 11 10
Февраль	1	20 56	— 17,3	8 43	+ 13 34
	11	21 36	— 14,2	9 22	+ 14 20
	21	22 15	— 10,8	10 01	+ 13 50
Март	1	22 46	— 7,9	10 33	+ 12 37
	11	23 23	— 4,0	11 12	+ 10 20
	21	23 59	— 0,1	11 52	+ 7 32
Апрель	1	0 39	+ 4,2	12 35	+ 4 12
	11	1 16	+ 8,0	13 15	+ 1 20
	21	1 53	+ 11,7	13 54	— 1 06
Май	1	2 31	+ 14,8	14 33	— 2 50
	11	3 09	+ 17,7	15 13	— 3 41
	21	3 49	+ 20,0	15 52	— 3 34
Июнь	1	4 33	+ 21,9	16 36	— 2 27
	11	5 14	+ 23,0	17 15	— 0 42
	21	5 56	+ 23,5	17 54	+ 1 25
Июль	1	6 37	+ 23,2	18 34	+ 3 31
	11	7 19	+ 22,2	19 13	+ 5 15
	21	7 59	+ 20,6	19 53	+ 6 15
Август	1	8 42	+ 18,2	20 36	+ 6 20
	11	9 21	+ 15,5	21 16	+ 5 15
	21	9 58	+ 12,4	21 55	+ 3 19
Сентябрь	1	10 39	+ 8,6	22 34	+ 0 34
	11	11 15	+ 4,9	23 18	— 3 04
	21	11 51	+ 1,0	23 57	— 6 35
Октябрь	1	12 27	— 2,9	0 37	— 10 02
	11	13 03	— 6,7	1 16	— 13 00
	21	13 40	— 10,4	1 55	— 15 10
Ноябрь	1	14 23	— 14,2	2 39	— 16 18
	11	15 02	— 17,2	3 18	— 16 02
	21	15 43	— 19,7	3 58	— 14 19
Декабрь	1	16 26	— 21,7	4 37	— 11 16
	11	17 09	— 22,9	5 17	— 7 08
	21	17 54	— 23,5	5 56	— 2 19

Н а ч а л о в р е м ё н г о д а

1953 г.			1954 г.		
Весна	Март	21, 1 ^ч 1 ^м	Март	21, 6 ^ч 54 ^м	
Лето	Июнь	21, 20 ^ч 0 ^м	Июнь	22, 1 ^ч 54 ^м	
Осень	Сентябрь	23, 11 ^ч 7 ^м	Сентябрь	23, 16 ^ч 56 ^м	
Зима	Декабрь	22, 6 ^ч 32 ^м	Декабрь	22, 12 ^ч 16 ^м	
Земля в перигелии	Январь	2, 9 ^ч 22 ^м	Январь	2, 11 ^ч 24 ^м	
Земля в афелии	Июль	5, 21 ^ч 13 ^м	Июль	3, 20 ^ч 0 ^м	

П Р И Л О Ж Е Н И Е X I I

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ В БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ

Зима 1952/53 года

Венера — вечерняя звезда (хорошая видимость)

Марс — по вечерам в созвездии Козерога, Водолея и Рыб как звезда второй величины

Юпитер — по вечерам и ночью в созвездии Овна (хорошая видимость)

Сатурн — во вторую половину ночи в созвездии Девы

Весна 1953 года

Венера — в марте по вечерам (хорошая видимость), в апреле не видна, нижнее соединение

Марс — условия для наблюдений неблагоприятные

Юпитер — в марте и апреле по вечерам в созвездии Овна

Сатурн — по вечерам и ночью в созвездии Девы (хорошая видимость)

Лето 1953 года

Венера — с июля утренняя звезда

Марс — не виден

Юпитер — с июля по утрам в созвездии Тельца

Сатурн — до середины августа по вечерам в западной части неба

Осень 1953 года

Венера — утренняя звезда

Марс — по утрам в созвездиях Льва и Девы

Юпитер — ночью в созвездии Тельца (хорошая видимость)

Сатурн — не виден

Зима 1953/54 года

Венера — не видна

Марс — по утрам в юго-восточной части неба в созвездиях Девы, Весов и Скорпиона

Юпитер — по вечерам и ночью в созвездии Тельца (хорошая видимость)

Сатурн — по утрам в восточной части созвездия Девы

Весна 1954 года

Венера — с апреля в лучах вечерней зари

Марс — во вторую половину ночи в созвездии Тельца

Юпитер — по вечерам в созвездии Тельца

Сатурн — по вечерам и ночью в созвездии Девы (хорошая видимость)

Лето 1954 года

Венера — в лучах вечерней зари

Марс — ночью в созвездии Стрельца. Яркость большая, ноточный путь чрезвычайно низкий

Юпитер — с августа по утрам в созвездии Близнецов

Сатурн — по вечерам в созвездии Девы

Осень 1954 года

Венера — не видна, в ноябре нижнее соединение

Марс — по вечерам в юго-западной части неба в созвездиях Стрельца и Козерога

Юпитер — ночью в созвездии Близнецов

Сатурн — не виден

Зима 1954/55 года

Венера — утренняя звезда (хорошая видимость)

Марс — по вечерам в созвездии Водолея и Рыб

Юпитер — по вечерам и ночью в созвездии Близнецов (хорошая видимость)

Сатурн — по утрам в созвездии Весов

Весна 1955 года

Венера — в лучах утренней зари, только в южных широтах СССР.

Марс — до мая в лучах вечерней зари в северо-западной части неба

Юпитер — по вечерам в созвездии Близнецов

Сатурн — ночью в созвездии Весов (хорошая видимость)

Лето 1955 года

Венера — не видна

Марс — не виден

Юпитер — не виден

Сатурн — по вечерам в созвездии Весов

Осень 1955 года

Венера — не видна

Марс — с октября по утрам в созвездии Девы

Юпитер — по утрам в созвездии Льва, близко от звезды α Льва

Сатурн — не виден

Зима 1955/56 года

Венера — вечерняя звезда

Марс — по утрам в юго-восточной части неба

Юпитер — ночью в созвездии Льва (хорошая видимость)

Сатурн — с конца декабря по утрам около границы созвездий Весов и Скорпиона

Весна 1956 года

Венера — вечерняя звезда (очень хорошая видимость)

Марс — по утрам в юго-восточной части неба

Юпитер — по вечерам и ночью в созвездии Льва (хорошая видимость)

Сатурн — ночью в созвездии Весов (хорошая видимость)

Лето 1956 года

Венера — в июне нижнее соединение, с июля утренняя звезда

Марс — ночью в созвездии Водолея, яркость очень большая

Юпитер — не виден

Сатурн — по вечерам в созвездии Весов

Осень 1956 года

Венера — утренняя звезда (хорошая видимость)

Марс — по вечерам и ночью в созвездии Водолея, яркость очень большая. 10 сентября великое противостояние, наименьшее расстояние от Земли 56,5 млн. км (хорошая видимость)

Юпитер — с октября по утрам в западной части созвездия Девы

Сатурн — не виден

Зима 1956/57 года

Венера — до середины января в лучах утренней зари в юго-восточной части неба

Марс — по вечерам в созвездиях Рыб и Овна

Юпитер — во вторую половину ночи в созвездии Девы

Сатурн — с января по утрам в созвездии Скорпион

Весна 1957 года

Венера — не видна

Марс — в лучах вечерней зари в северо-западной части неба

Юпитер — по вечерам и ночью в западной части созвездия Девы (хорошая видимость)

Сатурн — ночью в созвездии Скорпиона (хорошая видимость)

Лето 1957 года

Венера — не видна

Марс — не виден

Юпитер — до августа в начале вечера в западной части неба

Сатурн — по вечерам в созвездии Скорпиона

Осень 1957 года

Венера — в лучах вечерней зари

Марс — с ноября в лучах утренней зари в юго-восточной части неба

Юпитер — не виден

Сатурн — в сентябре в лучах вечерней зари в юго-западной части неба

Зима 1957/58 года

Венера — в декабре и первой половине января — вечерняя звезда, в феврале — утренняя звезда

Марс — в лучах утренней зари в юго-восточной части неба

Юпитер — по утрам в восточной части созвездия Девы

Сатурн — с середины января в лучах утренней зари в юго-восточной части неба

Весна 1958 года

Венера — в лучах утренней зари, с апреля только в южных широтах СССР

Марс — в лучах утренней зари в восточной части неба

Юпитер — ночью в созвездии Девы, недалеко от α Девы (хорошая видимость)

Сатурн — во вторую половину ночи в южной части созвездия Змееносца

Лето 1958 года

Венера — утренняя звезда, до июля только в южных широтах СССР

Марс — во вторую половину ночи в созвездиях Рыб и Овна

Юпитер — по вечерам в созвездии Девы

Сатурн — ночью в южной части созвездия Змееносца

Осень 1958 года

Венера — до октября утренняя звезда

Марс — по вечерам и ночью около границы созвездий Овна и Тельца (хорошая видимость)

Юпитер — не виден

Сатурн — в лучах вечерней зари в юго-западной части неба

Зима 1958/59 года

Венера — с конца января вечерняя звезда

Марс — по вечерам и ночью в созвездиях Овна и Тельца (хорошая видимость)

Юпитер — по утрам в созвездии Весов

Сатурн — не виден

ПРИЛОЖЕНИЕ XIII

ФОРМУЛЫ ПЕРЕХОДА ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
КООРДИНАТ h , A К ЭКВАТОРИАЛЬНЫМ δ , t И ОБРАТНО

Когда светило кульминирует, то мы легко можем, измерив высоту или зенитное расстояние, вычислить его склонение, или, наоборот, зная склонение, вычислить его высоту по формулам

$$h = \delta + 90^\circ - \varphi \text{ или } \varphi = \delta \pm z.$$

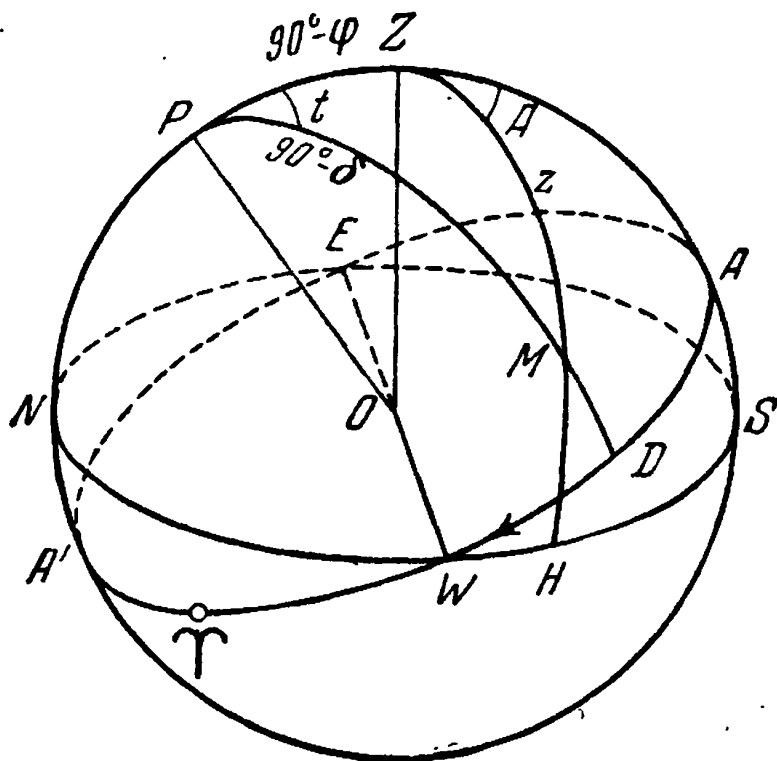


Рис. 62.

Но когда светило не в меридиане, приходится для вычисления экваториальных координат по горизонтальным, и обратно, решать треугольник на сфере, состоящий из дуг больших кругов. Такой треугольник называется сферическим, и формулы зависимости между его сторонами и углами выводятся в сферической тригонометрии.

Мы даём здесь без вывода лишь некоторые, могущие понадобиться, формулы в применении к астрономическому треугольнику ZPM , вершинами

которого служат зенит (Z), полюс мира (P) и светило (M) (рис. 62). Стороны этого треугольника следующие: $90^\circ - \varphi$; $90^\circ - \delta$; z . Внутренние углы: при вершине Z — дополнение до 180° азимута светила, т. е. $180^\circ - A$, при вершине P — часовой угол t .

Формулы перехода:

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t,$$

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t.$$

Здесь экваториальные координаты δ и t — склонение и часовой угол. Но мы всегда можем вместо t ввести прямое восхождение α по формуле $s = \alpha + t$ (см. стр. 59). Для этого, конечно, надо знать звёздное время в момент наблюдения.

Эти формулы служат для расчёта зенитного расстояния и азимута счислимого места при пользовании методом Акимова. Их

можно также применять для определения широты, а при известной широте — для определения времени по светилу, не находящемуся в меридиане.

Пользуясь первой формулой, можно вычислять моменты восхода и захода светил. В этом случае зенитное расстояние светила $z = 90^\circ$ и $\cos z = 0$. Формула примет вид

$$0 = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t.$$

Отсюда

$$\cos t = -\frac{\sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \cos \varphi} = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi.$$

Подставив сюда числовое значение склонения светила δ и широты φ данного места, вычислим часовой угол t . Он будет иметь два значения, отличающихся друг от друга знаками плюс и минус. Так как часовой угол отсчитывается от южной стороны меридиана к западу, то знак плюс соответствует заходу светила, а знак минус — восходу. Зная часовой угол, можно вычислить время восхода и захода по формуле $s = \alpha + t$, где α — прямое восхождение светила, которое, как и склонение, берётся из справочника (каталога звёзд). В результате получается звёздное время s восхода и захода. Его можно перевести в среднее, но для этого надо указать дату.

Пример. Определить время восхода звезды Арктур ($\alpha = 14$ ч. 12 м.; $\delta = 19^\circ 33'$) 1 мая в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$):

$$\cos t = -\operatorname{tg} 19^\circ 33' \cdot \operatorname{tg} 55^\circ 45' = -0,35 \cdot 1,47 = -0,51;$$

$$t = \pm (180^\circ - 59^\circ) = \pm 121^\circ = \pm 8 \text{ ч. } 4 \text{ м.}$$

Для восхода надо взять $t = -8$ ч. 4 м. Звёздное время восхода $s = \alpha + t = 14$ ч. 12 м. — 8 ч. 4 м. = 6 ч. 8 м. Звёздные часы 1 мая впереди гражданских приблизительно на 14 ч. 35 м. Отнимая это число от 6 ч. 8 м. + 24 ч., получаем: время восхода Арктура по местному гражданскому времени 15 ч. 33 м., а по декретному в Москве около 16 ч.

Подобным образом можно вычислить азимуты точек восхода и захода по формуле

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ XIV

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТКА Г. В. ВУЛЬФА

Для графического решения задач на сфере (без формул) удобно пользоваться стереографической проекцией сетки сферических координат на меридиональную плоскость (см. прилагаемую сетку).

Положим, даны часовой угол t и склонение δ светила (например, $t = 4$ ч. и $\delta = 75^\circ$). Найти A и z для наблюдателя, находящегося на данной широте (например, $\varphi = 56^\circ$).

Принимаем сетку за систему экваториальных координат. Накладывая на неё чистую кальку или прозрачную бумагу, наносим на последнюю светило по заданным его экваториальным координатам. Отмечаем на кальке северный полюс (верхняя точка, в которой сходятся все меридианы), центр сетки и положение светила по данным t и δ .

Теперь будем рассматривать ту же сетку как систему горизонтальных координат и экватор сетки примем за горизонт наблюдателя. Накладываем вновь ту же кальку, совмещая центр так, чтобы отмеченный на ней полюс мира поднимался над горизонтом на угол, равный широте места наблюдения φ . Отсчитываем по сетке A и z светила. В данном примере для широты 56° получаем $A = 152^\circ$, $z = 29^\circ$.

Стереографическая сетка Г. В. Вульфа позволяет решить и ряд других задач. Подробнее см. книгу П. Г. Куликовского «Справочник астронома-любителя», Гостехиздат, 1949.

ПРИЛОЖЕНИЕ XV

КАРТА МАГНИТНЫХ СКЛОНЕНИЙ СССР.

Пользуясь картой магнитных склонений СССР, можно определить магнитное склонение, т. е. отклонение магнитной стрелки компаса от направления на географический полюс, для любого пункта. Например, Минск имеет восточное склонение 2° , так как он лежит на сплошной линии, в верхнем конце которой поставлено 2° . Москва находится между сплошными линиями 6° и 8° , несколько ближе к 6° . Значит, Москва имеет восточное склонение немного менее 7° . Такое же приблизительно магнитное склонение имеют Сталинград, Астрахань и др. Магнитное склонение, близкое к нулю, имеют Рига и Иркутск, а Чита уже имеет западное магнитное склонение между 4° и 6° , т. е. около 5° . Значит, в Чите северный конец стрелки компаса отклонён к западу от направления на географический полюс немного более 5° .

ПРИЛОЖЕНИЕ XVI

ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЁЗДНОГО НЕБА

(См. вкладки.) Подробное описание изготовления см. на стр. 111—113.

ПРИЛОЖЕНИЕ XVII

ПОЛЯРНЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ ЧАСЫ

(См. вкладку.) Описание изготовления и применения см. на стр. 80—81.

ПРИЛОЖЕНИЕ XVIII

СХЕМА И ПРИМЕР ЗАПИСИ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОПРАВКИ ЧАСОВ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО КОЛЬЦА

(Часы идут по местному гражданскому времени)

Наблюдатель Александрова Н. Б.

5 апреля 1953 г.

Показание часов

Явление	До кульмин.	После кульмин.	Кульмин.
Штрих 74 $\bigcirc$	10 ^ч 21 ^м 15 ^с	13 ^ч 48 ^м 39 ^с	12 ^ч 4 ^м 57 ^с
74 $\ominus$	10 22 55	13 47 07	12 5 01
74 $\bigcirc$	10 24 21	13 45 27	12 4 59
74 $\bigcirc$	10 25 42	13 44 02	12 4 54

Момент истинного полудня (по часам наблюдателя)

12^ч4^м58^с

Момент истинного полудня по среднему местному времени (см Приложение XI)

12 2 52

Поправка часов

— 2 06

ПРИЛОЖЕНИЕ XIX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ МЕСТА ПО ВЫСОТЕ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ

В течение суток Полярная звезда описывает около полюса мира круг и бывает то выше, то ниже, то на одном уровне с полюсом мира. Эти положения она проходит в одни и те же часы по звёздному времени. В следующей таблице (см. стр. 170) даётся, сколько минут дуги надо прибавить (+) или вычесть (—) из измеренной высоты Полярной звезды, чтобы получить высоту полюса мира, а следовательно, широту места.

Если наблюдение производится, положим, не точно в 6 часов звёздного времени, а в 6 час. 20 мин., то можно сделать такой расчёт, полагая изменение поправки пропорциональным времени: за 1 час от 6 до 7 часов поправка убывает на $27' - 13' = 14'$, а за 20 мин., то-есть за треть часа, она убудет на $14' : 3 \approx 5'$. Следовательно, в 6 час. 20 мин. поправка будет $27' - 5' = 22'$ со знаком минус. Звёздное время для полуночи через 10 дней каждого месяца дано в четвёртой графе таблицы Приложения XI. (см. стр. 161.)

Если наблюдение производится в одно из промежуточных, не указанных в таблице чисел месяца, то надо произвести расчёт, подобный тому, который только что описан.

Местное звёздное время s	Поправка $\varphi - h$	Местное звёздное время s	Поправка $\varphi - h$
0 ^ч	— 51'	12 ^ч	+ 51'
1	— 56	13	+ 56
2	— 58	14	+ 58
3	— 55	15	+ 55
4	— 49	16	+ 49
5	— 39	17	+ 39
6	— 27	18	+ 27
7	— 13	19	+ 13
8	+ 3	20	— 3
9	+ 17	21	— 17
10	+ 31	22	— 31
11	+ 43	23	— 43
12	+ 51	24	— 51

ПРИЛОЖЕНИЕ XX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ МЕСТА С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО КОЛЬЦА

Пользуясь солнечным кольцом, можно определить высоту (h) Солнца по положению блика на шкале кольца. Высота Солнца определится углом, вершина которого лежит в центре отверстия кольца, а стороны: одна — направление солнечного луча, другая — горизонтальное направление. Горизонтальное направление проходит через центр отверстия и точку, лежащую по другую сторону подвеса на таком же расстоянии от него по кольцу. Эту точку можно отметить как постоянную на шкале и взять её за начало шкалы. Угол с вершиной на окружности измеряется, как известно из элементарной геометрии, половиной дуги, на которую он опирается. Если вычислить предварительно цену каждого деления шкалы в градусной мере при известном внутреннем радиусе кольца, то мы и узнаем высоту Солнца в градусах по тому делению шкалы, на котором виден блик.

Чтобы определить широту места, надо сделать два наблюдения одной и той же высоты Солнца с промежутком в 1,5—2 месяца (например, 15 сентября и 1 ноября), когда значение склонения Солнца изменится на достаточную величину. Для каждого наблю-

дения можно написать формулу, где z — зенитное расстояние Солнца:

$$\begin{aligned}\cos z &= \sin \delta_1 \sin \varphi + \cos \delta_1 \cos \varphi \cos t_1 \\ \cos z &= \sin \delta_2 \sin \varphi + \cos \delta_2 \cos \varphi \cos t_2.\end{aligned}$$

Вычитая из первого равенства второе, получим следующее:

$$0 = \sin \varphi (\sin \delta_1 - \sin \delta_2) + \cos \varphi (\cos \delta_1 \cos t_1 - \cos \delta_2 \cos t_2).$$

Откуда:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos \delta_2 \cos t_2 - \cos \delta_1 \cos t_1}{\sin \delta_1 - \sin \delta_2}.$$

Часовой угол Солнца для того и другого наблюдения можно определить, имея выверенные часы и моменты наблюдений, выраженные в звёздном времени.

Кроме того солнечное кольцо может быть использовано и для определения долготы места, так как с его помощью можно определить местное время.

ПРИЛОЖЕНИЕ XXI

УСТРОЙСТВО УПРОЩЁННОГО ВЫСОТОМЕРА

На рис. 63 изображён общий вид упрощённого высотомера. Разделённый круг для него (см. вкладку) наклеивается на плотный картон или фанерку, которая прикрепляется к деревянному колышку так, чтобы она могла вращаться.

Два вбитых в диаметрально противоположные точки круга гвоздика служат визиром для наведения на светило. Нить с грузиком, прикреплённая к среднему гвоздику, даёт возможность сделать отсчёт.

При помощи высотомера можно определить высоту светила с точностью до $0,5^\circ$, а по высоте Полярной с указанной точностью определить географическую широту.

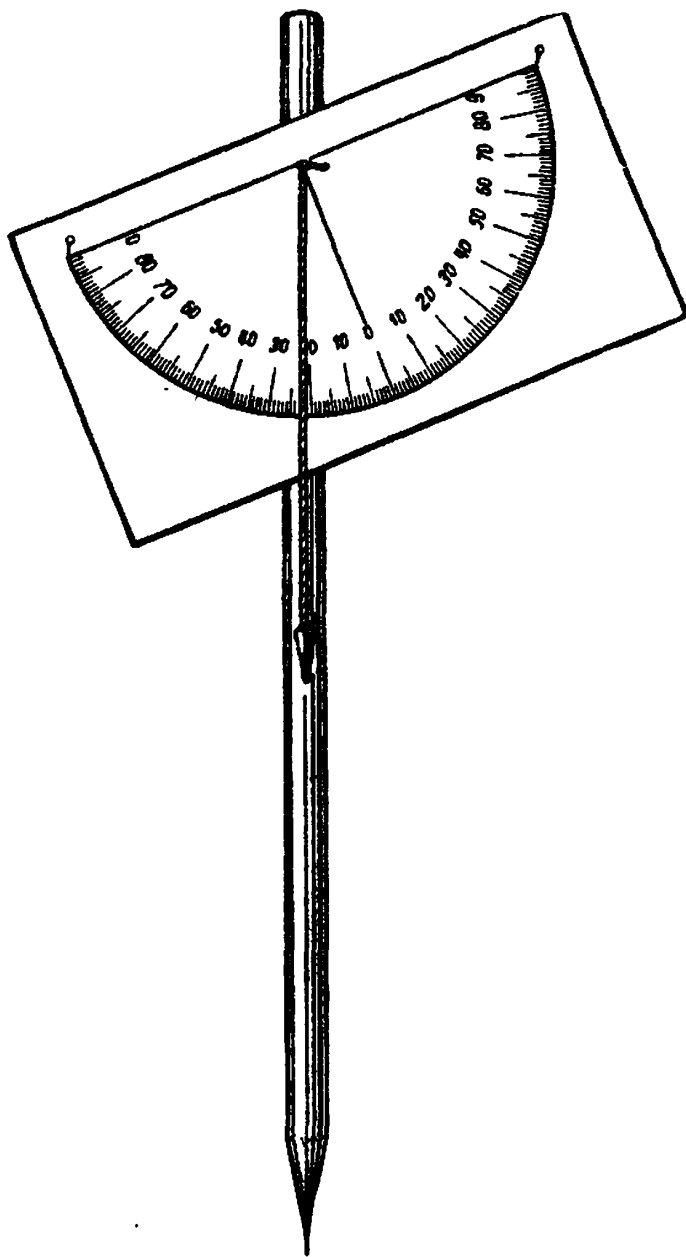


Рис. 63.

Редактор *В. А. Фуфова.*
Техн. редактор *Р. А. Негримовская.*
Корректор *О. А. Сигал.*

*

Подписано к печати 5/V 1953 г.
Бумага 84 × 108/₃₂. 2,69 бум. л. + 1 вклейка
и 5 вкладок. 10,85 печ. л. 9,56 уч.-изд. л.
40010 тип. зн. в печ. л. Тираж 2500 экз.
Г-00040. Цена книги 2 р. 85 к. Переплёт 1 р.
Заказ № 207.

*

4-я типография им. Евг. Соколовой
Союзполиграфпрома Главиздата
Министерства Культуры СССР.
Ленинград, Измайловский пр., 29.

Цена 3 р. 85 к.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1953**